# Case study

## Blusgas installatie met $CO_2$

## in automatische parkeergarage

Case study - Copyright © 2018 by Fire Safety Engineering Consultants (FSEC) bvba

www.fseconsult.be

*All rights reserved. No part of the content of this document and of the above mentioned report may be multiplied, stored electronically or made public, in any form or by any means, neither electronically, mechanically, by photocopies, recordings, or in any other way, without prior written permission of the author.*

# 1 Inhoud

1 Inhoud ..... 2
2 Inleiding ..... 3
2.1 Kaderstuk eigenschappen CO2 ..... 7
2.2 Ontwerp ..... 8
2.2.1 Een overzicht van de voorschriften voor dit project: ..... 9
2.2.2 Hoeveelheid blusgas ..... 10
2.2.3 Dimensionering van het leidingnet ..... 12
2.3 Proefblussing ..... 13
2.3.1 Draaiboek veiligheid omgeving ..... 13
2.3.2 Concentratiemetingen ..... 14
3 Lijst figuren ..... 17
4 Referenties ..... 18

# 2 Inleiding

In deze case study gaan we dieper in op het beveiligen tegen brand van een ondergronds object, met name een automatische stallingsgarage voor personenvoertuigen. De blusgasinstallatie dient een eventuele brand in de garage te detecteren, te signaleren en te blussen zodat brandschade aan het parkeersysteem en de bouwkundige constructie wordt geminimaliseerd.

De garage is gelegen aan het Javaplein, hartje Indische buurt in het centraal gebied van Amsterdam, Nederland. Het maakt deel uit van een multi functioneel complex met onder meer appartementen, een binnentuin, winkels, horeca, een bibliotheek en een sportcentrum.

De keuze van de projectontwikkeling ging naar een automatisch parkeersysteem. Vanuit een kosten-baten analyse werd al snel duidelijk dat de investering voor een dergelijk systeem loont in een gebied met grote bevolkingsdensiteit, weinig beschikbare oppervlakte en peperdure grondprijzen. Het vermijden van circulatiewegen in een parking levert immers een aanzienlijke plaatsbesparing op.

*Figuur 1: indeling parkeergebouw niveau -2*

De stallinggarage is direct onder het multifunctioneel gebouw gesitueerd. De garage bestaat uit 2 ondergrondse parkeerlagen, gelegen op niveau -1 en niveau -2 onder het maaiveld, en 3 entreeruimten op de gelijkvloerse verdieping voor aflevering/ophaling van de wagens. De twee parkeerlagen staan via een vide met elkaar in verbinding.

*Figuur 2:parkeersysteem, shuttle*

*Figuur 3: parkeersysteem, autolift*

De auto wordt door de bestuurder in de entreeruimte gereden. De bestuurder en eventuele inzittende verlaten de auto. Nadat de personen de entreeruimte hebben verlaten, wordt de auto automatisch getransporteerd naar een vrije locatie in de ondergrondse garage, verticaal met een lift en horizontaal met een shuttle. De wagens worden weggezet in rijen van twee of drie aansluitende plaatsen. Per bouwlaag worden 4 wisselplaatsen vrijgehouden voor het systeem, in totaal blijven 169 plaatsen beschikbaar. De totale oppervlakte van beide bouwlagen bedraagt 3800m², wat resulteert in 22.5m²/parkeerplaats. In een gelijkaardig parkeergebouw met circulatiezones loopt dit cijfer op tot ongeveer 30m²/parkeerplaats. Omgerekend naar de 169 plaatsen betekent dit een plaats besparing van om en bij de 1270m².

Elk besloten ondergronds object stelt door zijn ligging specifieke eisen aan de benadering van brandveiligheid. De procedures en de systemen die instaan voor de beveiliging tegen brand van een object dienen afgestemd te zijn op de beslotenheid ervan. Deze beslotenheid zal in belangrijke mate de bereikbaarheid en de doorzoekbaarheid van het object benadelen ten opzichte van een gemiddeld bovengronds object.

In geval van brand worden relatief snel onhoudbare condities gecreëerd in termen van rookverspreiding en de warmteontwikkeling. Reeds in de initiële fase van de brand zal de rookverspreiding het zicht volledig ontnemen. Tijdens een verdere ontwikkeling van de brand zal door de relatief lage plafondhoogte de temperatuur van de rookgassen snel oplopen. De inmenging van omgevingslucht in de rookpluim is immers beperkt waardoor deze weinig afkoelt. Bijkomend zullen, door de beperkte stijghoogte van de rookpluim boven de brandhaard, onverbrande gassen het plafond bereiken en zich verder horizontaal verspreiden onder het plafond om daar verder te verbranden. Deze *ceiling jet* is gekarakteriseerd door zeer hoge temperaturen en dito snelheden. Hierdoor ontstaat een hete rooklaag welke neerwaarts straalt op de omliggende voertuigen. Het effect van de straling wordt in belangrijke mate bepaald door de temperatuur van de rookgaslaag en de afstand ervan tot de voertuigen. De aanwezigheid van wanden en hoeken versterkt dit effect nog meer. Vereenvoudigd kan men stellen dat de stralingsenergie zich verhoudt via een vierde macht tot

de temperatuur ($\sim T^4$) en via een tweede macht tot de afstand tussen straler (puntbron) en object ($\sim \frac{1}{r^2}$). Deze straling zal ook het interieur van de omliggende voertuigen opwarmen waardoor er steeds meer brandbare gassen vrijkomen in het interieur (pyrolyse). Bij het breken van een ruit komen deze gassen plots vrij met een piek van het vrijgesteld vermogen tot gevolg, welke op zijn beurt weer de temperatuur verhoogt. Deze kettingreactie kan in een besloten garage al snel tot brandvermogens met pieken van meer dan 10 MW leiden met een onbeheersbare brand tot gevolg.

Figuur 4 geeft een overzicht van de brandvermogens bij verschillende opstellingen en types van voertuigen in het kader van een onderzoek door BRE (UK) naar brandverspreiding in een besloten garage [1]. De piek in de curve van test 1 treedt op onmiddellijk na het breken van een ruit van het tweede voertuig, 21 minuten na ontsteking van het eerste voertuig. Het derde voertuig ontwikkelt reeds enkele minuten later zijn volle vermogen, niettegenstaande er een lege parkeerplaats was tussen het tweede en het derde voertuig. Dit duidt op het significant effect van de straling van de hete rooklaag, in vergelijking met de directe straling door de vuurhaard van het nabijgelegen voertuig. De nabijheid van wanden zal de branduitbreiding aanzienlijk versnellen, met name hoekconfiguraties. We verwijzen naar het volledige rapport voor een volledige interpretatie van de resultaten.

*Figuur 4: BRE BD2552 rapport, ontwikkeld brandvermogen van wagens in een besloten garage [1]*

*Figuur 5: BRE BD2552 rapport, test 1, 21 minuten na ontsteking voertuig links [1]*

Het is aannemelijk dat een interventie door de brandweer niet meer mogelijk is in een korte tijdspanne na het ontstaan van een brand omwille van de condities in de parking. Zelfs bij een geringe rookontwikkeling wordt een interventie bemoeilijkt door de obstakels van het parkeersysteem en door de zeer nauwe doorgangen tussen de weggezette voertuigen.

Vanuit de overheid (brandweer Amsterdam) werd dan ook de eis gesteld om de stallinggarage uit te rusten met een automatisch blussysteem. De keuze van de projectontwikkeling ging naar een blusgassysteem met CO2.

Koolstofdioxide is een goedkoop en zeer efficiënt blusgas waardoor het veelvuldig wordt toegepast in industriële risico's waar de kans op een brand relatief groot is en de bezetting door operatoren laag is. Men treft het bijvoorbeeld aan op walsen in de metaalverwerkende nijverheid waar een op kerosine lijkende vloeistof wordt gebruikt voor koeling en smering. Door de relatief hoge densiteit van koolstofdioxide ten opzichte van lucht (+50%) kan het gas ook worden gebruikt om niet afgesloten objecten te beveiligen. Men creëert dan als het ware een deken van CO2 dat valt rond het object door grote hoeveelheden te lozen van bovenaf.

Een nadeel van CO2 is dat het dodelijk is bij blusconcentratie. Een concentratie die 1/3 bedraagt van de minimale blusconcentratie veroorzaakt bewustzijnsverlies in enkele minuten, gevolgd door de dood na een half uur. Daar waar het twee decennia geleden nog frequent in grote computer lokalen werd gebruikt, is het nu ondenkbaar geworden om dit blusgas nog toe te passen in bemande lokalen. Voor onbemande risico's blijft het echter een waardevol en economisch blusgas.

*Figuur 6: opstelling voertuigen*

De toepassing van CO2 in een automatische stallingsgarage biedt een aantal voordelen: geen nevenschade aan het parkeersysteem en het gebouw, beperkt aantal blusleidingen in de compacte installatie, kort tijdsbestek tussen blussing en (her-)ingebruikname, lange houdtijd van de blusgasconcentratie door het gewicht van het gas in combinatie met de ondergrondse 'kuip', actieve blussing door verstikking van de brand op moeilijk bereikbare plaatsen (onder de voertuigen bij plasbrand van gelekte brandstof, in het motor compartiment waar meestal de brand ontstaat), koelend effect.

## 2.1 Kaderstuk eigenschappen CO2

CO2 is van nature in de atmosfeer aanwezig met een gemiddelde volumeconcentratie van 0.03%. Het wordt ook geproduceerd door het menselijk metabolisme. CO2 heeft een belangrijke invloed op de vitale functies, waaronder de ademhaling, dilatatie en vernauwing van het vasculair systeem en de zuurtegraad van bloed. De concentratie van CO2 in de omgevingslucht regelt de hoeveelheid CO2 die wordt vrijgegeven door de longen welke op hun beurt de concentratie van CO2 in het bloed en het weefsel bepalen. Een toenemende hoeveelheid CO2 in de lucht kan gevaarlijk worden door de reducerende werking op de vrijstelling van CO2 door de longen gecombineerd met een verminderde zuurstof opname.

Naast zijn toepassing voor commerciële doeleinden (spuitwater, droog ijs, ..) heeft het een aantal interessante eigenschappen voor brandblus applicaties. Het is niet corrosief, veroorzaakt geen nevenschade en laat geen residu achter. Door de hoge dampdruk in de opslagtank is er geen extern drijfgas of externe pomp nodig om het gas door de leidingen te stuwen. Deze eigenschappen maken dat CO2 voor bijna alle brandbare stoffen kan worden gebruikt, uitgezonderd een aantal brandbare metalen of metaal hydriden en materialen die zuurstof vrijstellen bij verbranding.

CO2 kan eenvoudig vloeibaar worden gemaakt door samendrukking en koeling. Door verdere koeling en expansie kan het naar een vaste vorm worden gebracht (droog ijs).

De relatie tussen de temperatuur en de druk van vloeibaar CO2 is gegeven in Figuur 7. Wanneer de temperatuur van de vloeistof stijgt, neemt de druk toe, welke de dichtheid van de damp boven de vloeistof doet toenemen. Tegelijkertijd zal bij toenemende temperatuur de dichtheid van de vloeistoffase afnemen. Bij 31°C hebben de dampdruk en de vloeistoffase dezelfde dichtheid waardoor de vloeistoffase verdwijnt. Dit is de

*Figuur 7: de fase overgangen van koolstofdioxide*

kritische temperatuur van CO2. Onder de kritische temperatuur zal CO2 in een gesloten vat bestaan uit een deel vloeistof en een deel gas. Boven de kritische temperatuur zal er enkel gas aanwezig zijn.

Een ongewone eigenschap van CO2 is dat het niet vloeibaar kan zijn bij een absolute druk lager dan 5,17 bar. Bij deze druk wordt het triple punt van CO2 bereikt. Onder deze druk kan het enkel bestaan als gas of vaste stof, afhankelijk van de temperatuur. Wanneer de druk in het opslagtank wordt afgelaten, zal een deel van de vloeistof verdampen om dit verlies op te vangen waardoor de vloeistof afkoelt. Bij 5,17 bar en een temperatuur van -57°C zal de resterende vloeistof overgaan in vaste vorm. Verdere reductie van de druk tot atmosferische waarden verlaagt de temperatuur van het droog ijs tot -79°C.

Hetzelfde proces speelt zich af bij een blussing waar vloeibare CO2 wordt geloosd in een ruimte op omgevingsdruk. Een groot deel van de vloeibare CO2 zet zich om in gas met een aanzienlijke volumetoename tot gevolg. De rest wordt omgezet in fijne partikels droog ijs op -79°C welke de witte sneeuwwolk veroorzaken bij een lozing. Door de plotse verlaging van de omgevingstemperatuur zal ook de waterdamp in de lucht condenseren zodat er mistvorming optreedt die nog enige tijd blijft bestaan na verdamping van de sneeuw.

De blussende werking van CO2 berust dus op 2 peilers: verlaging van zuurstof in de lucht door verdringing en het verlagen van de gasfase van de brandstof door afkoeling tot op het punt waar de verbranding niet verder kan worden onderhouden.

## 2.2 Ontwerp

De ontwerper van een blusgasinstallatie met CO2 heeft een aantal internationale normen zoals NFPA12, CEA4001 en Vds2093 ter beschikking om tot een installatie te komen die het beoogde doel bereikt, namelijk het uitdoven van een brand.

Daarnaast dienen we ook rekening te houden met de uitwerking van het blusgas op de gebruikers in het object en, niet in het minst, erbuiten. CO2 is onder atmosferische druk nog altijd een gas met de typische eigenschap dat het zich door elke opening weet te verspreiden, ook door poreuze muren. Door de grote dichtheid van het gas bouwt de concentratie zich op vanaf het laagste punt in de ruimte, .. en blijft het daar lange tijd aanwezig zonder tussenkomst van ventilatie. Dit fenomeen kan gevaarlijke situaties creëren voor mensen die zich niet bewust zijn van de aanwezigheid van het gas. CO2 in gasvormige toestand is immers onzichtbaar en geurloos (zonder toevoeging van *wintergreen* geurstof).

Omdat de installatie werd opgeleverd in Nederland dienden ook een aantal landelijke voorschriften te worden gevolgd. De installatie berust op een brandmeldsysteem met doormelding welke dient te voldoen aan de landelijke vereisten, namelijk de NEN2535 [2]. Daarnaast valt de gehele installatie onder een regeling voor certificering, genaamd *inspectieschema Vast opgestelde Brandbeheers- en Blussystemen (VBB:2008)* welke berust op periodieke inspecties welke volgen op de opleveringsinspectie [3]. Indien de installatie bij oplevering voldoet aan alle vereisten wordt aan de eigenaar een certificaat met een beperkte geldigheidsduur uitgereikt. Na elke periodieke inspectie wordt het certificaat hernieuwd zolang de installatie blijft voldoen aan de beoogde uitgangspunten. Het certificaat kan dan worden voorgelegd aan mogelijke eisende partijen (overheid, verzekeraar, ..).

### 2.2.1 Een overzicht van de voorschriften voor dit project:

Installatie voorschriften:

| Installatiedeel | Voorschrift / richtlijn | Uitgave |
|---|---|---|
| Blusgasinstallatie | NFPA 12 "Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems" | 2008 |
| Brandmeldinstallatie | NEN-EN 12094-1 "Vaste brandblusinstallaties - Onderdelen voor blusgas-systemen - Deel 1: Eisen en beproevingsmethoden voor automatische elektrische stuur· en vertragingsinrichtingen" | 2003 |
| | NEN-EN 12094-3 "Vaste brandblusinstallaties - Onderdelen voor blusgas-systemen - Deel 3 : Eisen en beproevingsmetheden voor installaties met handbediening voor activeren en stoppen" | 2003 |
| | NEN 2535 "Brandmeldinstallatie, Systeem en kwaliteitseisen en projecteringsrichtlijnen", inclusief wijzigingsblad april 2002 | 1996 |
| Blusgasbeveiliging | SVI-publicatie "Blusgasinstallaties veiligheidsaspecten" | 2007 |
| Bouwkundig | Memorandum 65 "classificatie van certificaten naar brandcompartimentering" | 2008 |

Inspectie, beheer en onderhoud:

| Installatiedeel | Voorschrift | Uitgave |
|---|---|---|
| Inspecties | Inspectieschema Vast opgestelde Brandbeheers- en Blussystemen (VBB:2008) | 2008 |
| Blusgasinstallatie | NFPA 12 "Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems" | 2008 |
| Brandmeldinstallatie | NEN 2654-1 "Brandmeldinstallaties. Eisen voor het beheer, de controle en het onderhoud" | 2002 |
| Bouwkundig | Memorandum 65 "Classificatie van certificaten naar brandcompartimente-ring" | 2008 |

De garage kan worden gezien als besloten ruimte met beperkte vluchtmogelijkheden. De blusgasinstallatie dient aan de veiligheidsvoorzieningen te voldoen conform klasse III van het SVI blad.

Ontwerpcriteria gebaseerd op NFPA 12, vastgelegd in een inspectieplan[1]:

| | |
|---|---|
| Ontwerpgegevens | Ruimteblussing *(total flooding)* op basis van een "deep seated fire" |
| Minimale ontwerp blusgasconcentratie | 36% (material conversion factor 1,09).<br>Gebaseerd op de bruto inhoud van de lege ruimte. |
| Flooding factor | 0,77 kg $CO_2/m^3$ (NFPA 12:2008, table 5.3.3b, volume>1415$m^3$) |
| Afblaastijd | 85% van deze concentratie moet binnen 2 minuten na aanvang van de blussing worden bereikt |
| Standtijd | Minimaal 20 minuten. Deze tijd wordt aangenomen voldoende te zijn om de inzettijd van de brandweer af te dekken. Het parkeersysteem wordt automatisch uitgeschakeld door het brandmeldsysteem. Met een proefblussing moet worden aangetoond dat de vereiste concentratie gedurende de houdtijd wordt gerealiseerd. |

[1] Inspectieplan: neerslag van de technische-, bouwkundige- en organisatorische eisen om de blusgasbeveiliging op basis van het inspectie protocol (VVB-09) te kunnen inspecteren en certificeren

| | |
|---|---|
| Veiligheidsvoorzieningen | Klasse III, ontwerp blusgasconcentratie hoger dan LOAEL[2]-grens |
| Opmerkingen | De minimale ontwerp blusgasconcentratie (34%) en de afblaastijd (2/3 van 34% in 10 minuten) zijn gebaseerd op NFPA12 voor *vehicle spaces* met voertuigen die meer dan 19 liter brandstof bevatten (NFPA 12:2008 §9.3.6.4.1). Dit artikel is van toepassing op *Marine Systems*, aangezien voor niet-*Marine Systems* geen onderbouwde concentratiegegevens bekend zijn. Op grond van de aanwezigheid van auto's met LPG-installaties (butaan en propaan) wordt deze concentratie verhoogd naar 36%.<br>Het brandrisico van de auto's beperkt zich niet alleen tot de brandstof. Een kortsluiting in het motorcompartiment of dashboard kan tevens leiden tot een brand. Een brand die zich ontwikkelt in de auto kan worden gezien als een zogenaamde *deep seated fire* . De blusgasconcentratie kan in de auto binnen de afblaastijd waarschijnlijk niet op niveau zijn omdat moderne auto's een hoge mate van dichtheid hebben door geluidsisolatie e.d. Zodoende is er een standtijd van het blusgas benodigd zodat een brand die ontstaat in de auto wordt beheerst . |

### 2.2.2 Hoeveelheid blusgas

Minimale ontwerpconcentratie: 36%

NFPA12 [4] hanteert een berekeningswijze waarbij men uitgaat van een basis hoeveelheid CO2 per eenheid van volume ruimte, overeenstemmend met 34% concentratie. In Figuur 8 is te zien dat naarmate de ruimte groter wordt, de hoeveelheid blusgas per eenheid volume afneemt omdat de verhouding omwentelingsoppervlakte/volume daalt. Hoe meer omwentelingsoppervlakte in verhouding tot het volume, hoe meer CO2 verloren zal gaan door porositeit van wanden

**Table 5.3.3(b) Flooding Factors (SI Units)**

| (A) Volume of Space ($m^3$) | (B) Volume Factor | | (C) Calculated Quantity (kg) (Not Less Than) |
|---|---|---|---|
| | $m^3/kg\ CO_2$ | $kg\ CO_2/m^3$ | |
| Up to 3.96 | 0.86 | 1.15 | — |
| 3.97–14.15 | 0.93 | 1.07 | 4.5 |
| 14.16–45.28 | 0.99 | 1.01 | 15.1 |
| 45.29–127.35 | 1.11 | 0.90 | 45.4 |
| 127.36–1415.0 | 1.25 | 0.80 | 113.5 |
| Over 1415.0 | 1.38 | 0.77 | 1135.0 |

*Figuur 8: NFPA12 flooding factors*

Bij hogere concentraties (hier 36%) dient de basiswaarde uit de tabel te worden gecorrigeerd met een conversie factor. Voor 36% bedraagt deze 1,09. De relatie tussen conversiefactor en ontwerpconcentratie (Figuur 9) is niet lineair omdat bij het inblazen van grotere hoeveelheden CO2 in eenzelfde volume relatief meer CO2 verloren zal gaan via openingen. Bij het inblazen zal het CO2 gas zich immers intens mengen met de lucht in de ruimte. De overdruk die ontstaat wordt ontlast via overdruk openingen en andere (ongewenste) openingen. Hierdoor zal een deel van het blusgasmengsel ontsnappen. Dit proces wordt *free-efflux* genoemd. Het volume CO2 nodig per eenheid van volume ruimte vertoont een logaritmisch verband: $e^X = \frac{100}{100-\%CO2}$ $of\ X = 2.303\ log_{10}\frac{100}{100-\%CO2}$ met $X$: het ingeblazen volume CO2 per volume ruimte, uitgedrukt in [m³/m³].

[2] LOAEL: lowest observable adverse effect level

Om nu de hoeveelheid op te slagen CO2 te bepalen (in kg) dienen we rekening te houden met de expansie van het gas dat afhankelijk is van de ruimtetemperatuur na lozing. Het specifiek volume van CO2 varieert van 0.56m³/kg tot 0.52m³/kg bij een temperatuur van respectievelijk 30°C en 10°C. Dus hoe lager de temperatuur na lozing, hoe lager de resulterende concentratie. Omgerekend naar de 8690m³ ruimte van de garage komen we bij gebruik van de *free-efflux* relatie uit op:

36%vol => X=0.4464 m³/m³ => VCO2=3879m³ => mCO2=6927kg à 7460kg (30°C à 10°C).

Indien we de benodigde massa vereenvoudigd berekenen via de tabel in Figuur 8 dan komen we tot:

mCO2=0.77kg/m³ x 8690m³ x 1.09 = 7293kg

*Figuur 9: NFPA12, conversion factor for higher concentrations*

De tabel in NFPA12 is bepalend maar we willen benadrukken dat de ruimte temperatuur een grote invloed heeft op de efficiëntie van een bepaalde hoeveelheid gas. Met name bij blussingen in gekoelde ruimten kan de benodigde hoeveelheid CO2 aanzienlijk toenemen.

Een tweede fenomeen dat speelt bij lage temperatuur is dat de vloeibare CO2 die uit de nozzles stroomt mogelijks niet genoeg warmte van de omgeving krijgt om te kunnen verdampen. Er treedt dan ijsvorming op die als het ware de CO2 gevangen houdt tot de temperatuur voldoende stijgt om te kunnen sublimeren.

De latente verdampingswarmte van vloeibaar CO2 bij -18°C bedraagt ongeveer 279kJ/kg. Om 7239kg vloeibaar CO2 te verdampen is dus 2020MJ energie nodig uit de ruimte. Deze energie kan worden bekomen door warmte te onttrekken aan de lucht, de wanden van het gebouw en de objecten.

Ter illustratie: Indien deze verdampingswarmte enkel door afkoeling van de lucht zou worden geleverd (geen objecten en adiabate wanden), zou de temperatuur in dit volume met 190°C dalen! In werkelijkheid zal de warmte voornamelijk geleverd worden door de objecten, gevolgd door de (betonnen) wanden.

Nu, in het geval van een ondergrondse parkeergarage zijn geen lage temperaturen te verwachten, we nemen een ruimte temperatuur aan van 15°C. We hanteren voor dit ontwerp de 'standaard' waarden uit de norm, welke resulteert in 7293kg. Gezien de betonnen constructie onder de grond

zit, zijn er weinig ongewenste openingen te verwachten. Een *fantest*[3] bevestigt ons dat de totale oppervlakte aan openingen te verwaarlozen is in het ontwerp. De ventilatie wordt bij brandmelding uitgeschakeld en de kanalen gasdicht afgesloten.

Gezien de grote hoeveelheid benodigde CO2 gebeurt de opslag in een tank. Bij een temperatuur van 15°C bedraagt de dampdruk van CO2 ongeveer 50 bar, welke veel te hoog is voor een opslagtank van bijna 9000L. Daarom wordt het gas gekoeld tot -18°C bij een druk van 20,7bar. Dit type van opslag met een permanent koelsysteem noemt men een lage druk CO2 systeem.

*Figuur 10: opslagtank CO2*

In totaliteit wordt hier 7800kg CO2 gestockeerd. De bijkomende hoeveelheid dient onder andere om een aantal testen van de hoofdafsluiter toe te laten zonder telkens de tank te moeten hervullen.

### 2.2.3 Dimensionering van het leidingnet

Hoewel NFPA12 tabellen en grafieken aanreikt om een leidingnet manueel te berekenen, is het niet economisch om dit voor een grote installatie te doen. We gebruiken specifieke software om de hydraulische berekening van de installatie uit te voeren. Via iteratieve methodes zoekt de software naar de kleinste diameters van leidingen om de nodige hoeveelheid CO2 nog binnen de gestelde tijd in de ruimte te krijgen. Om een homogene verdeling te bekomen in de ruimte wordt ook de doorlaat van elke nozzle (boring) door de software bepaald. Het is een iteratieve evenwichtsoefening tussen leidingdiameters en boringen van nozzles om tot het gewenste resultaat te komen.

Binnen een tijdsvenster van 120s na activatie van de installatie moet 85% van de ontwerpconcentratie worden bereikt, waarbij enkel de uitstroming van vloeibare CO2 in rekening wordt gebracht, de zogenaamde *two-phase discharge*. Bij het lozen van vloeibare CO2, gestockeerd op -18°C, in distributieleidingen op 15°C zal de vloeistof bij aanvang van de lozing verdampen in de leiding waarbij warmte aan de leiding wordt onttrokken totdat de leiding de saturatietemperatuur van het doorstromend gas bereikt. Op dat moment ontstaat een tweefasige stroming in de leiding. De saturatie temperatuur is afhankelijk van de druk in de leiding en dus niet constant gezien de druk in de leidingen afhankelijk is van de locatie in het distributienet, en van de tijd. Ook de mate waarin

[3] Fantest: Het in over- en onderdruk zetten van de ruimte door middel van een ventilator bij meting van het debiet doorheen de ventilator. Deze waarden laten een berekening toe van de totale verliesoppervlakte aan lekken.

een leiding afkoelt is functie van zijn gewicht en warmte capaciteit van het materiaal, voor staal bedraagt dit gemiddeld 0.46kJ/kg K. Bij aanvang van de blussing zal er respectievelijk lucht, CO2 gas en CO2 gas/vloeistof uit de nozzles stromen. Door de verdamping zal het volume in de leiding ook aanzienlijk toenemen met het gevolg dat de snelheid in de leiding, en dus ook het drukverlies in de leiding, toeneemt naarmate men de nozzle nadert.

Een vrij complexe materie die gelukkig door de software tot een goed einde wordt gebracht.

*Figuur 11: isometrische tekening distributienet*

## 2.3 Proefblussing

Het uitvoeren van een proefblussing vraagt veel organisatie, tijd en geld. Toch is het noodzakelijk om de werking van de installatie te toetsen aan het ontwerp. Zoals eerder aangegeven zijn er te veel verschillende factoren die een significante invloed hebben op de beoogde werking bij een installatie van deze omvang. Een proefblussing brengt mogelijks veiligheidsrisico's aan het licht die ontstaan in de ruime omgeving van het object bij het lozen van duizenden kilo's CO2.

### 2.3.1 Draaiboek veiligheid omgeving

Voorafgaand aan de proefblussing werd een draaiboek opgesteld in overleg met de vereniging van de bewoners, de projectontwikkeling, de beheerder van de parking en de brandweer. In dit document worden alle risico's, verantwoordelijkheden en taken gebundeld om de test vlot te laten verlopen. Bijzonder punt van aandacht was de veiligheid van de gebruikers van het gebouw en de omwonenden. Volgende punten dienden nauwgezet gemonitord te worden tijdens en na de test:

- Na afloop van de blussing wordt de garage geventileerd via een kanaal dat uitmondt op het dak van het complex. Het is niet duidelijk hoe de CO2 zich hier zal verspreiden. Zowel op het dak als op lager gelegen gebieden (binnentuin, straat) meettoestellen geplaatst ter beoordeling. De diffusie van de CO2 in de omgevingslucht bij uittreding van het kanaal dient te worden beoordeeld. Hiervoor wordt een infrarood absorptie camera opgesteld. Dit type

camera wordt ook gebruikt om bijvoorbeeld de uitstoot van zeeschepen te controleren op grote afstand.

- Het gebouw heeft lokalen voor opslag die zich situeren naast de garage. De nooddeuren van de garage geven uit op de gang ten dienst van deze lokalen. Hier worden meettoestellen geplaatst ter beoordeling van de gasdichtheid van de deuren en de wanden.
- De dagventilatie van de bibliotheek en het sportcentrum op de gelijkvloerse verdieping staan in verbinding met de garage. Voorafgaand aan een blussing worden deze systemen uitgeschakeld en sluiten de kleppen in de kanalen. Op beide locaties worden meettoestellen geplaatst ter beoordeling van de gasdichtheid van de kleppen.
- De kans bestaat dat CO2 zich ophoopt in het interieur van de geparkeerde wagens. Na afloop van de test worden enkele wagens uit de parking gehaald en gemeten ter beoordeling. De andere wagens krijgen een bericht aangeplakt om de deuren enkele minuten open te zetten voordat het voertuig wordt betreden.
- De overdruk die tijdens de lozing ontstaat, wordt ontlast via gravitaire roosters die zich boven de ingang van de 3 entreeruimtes bevinden. Hier worden grote hoeveelheden CO2 verwacht gezien er 36% volume, ofte 3130m³, uit de ruimte wordt verdrongen. De brandweer voert metingen uit in de straat ter beoordeling.

*Figuur 12: controle van de omgeving door de brandweer*

*Figuur 13: overdruk, 2' na activatie*

*Figuur 14: overdruk, 3' na activatie*

*Figuur 15: overdruk, 3'30" na activatie*

### 2.3.2 Concentratiemetingen

Om de CO2 concentratie in een groot object correct te meten op meerdere niveaus is gespecialiseerde apparatuur nodig. Het labo van Vds (DE) werd verzocht de metingen uit te voeren omdat ze beschikken over gecertificeerde apparatuur die 8 kanalen tegelijk kan meten. Zo kan gemeten worden op 3 verschillende hoogtes van elke parkeerlaag, plus op 2 locaties aan de entreeruimtes.

Naast de concentratie dient ook de temperatuur en de druk te worden gemeten om een juiste interpretatie van de informatie mogelijk te maken.

Uit de meetresultaten blijkt dat de concentratie en de standtijd van de blusgasbeveiliging voldoen aan de vereisten. Na meer dan 3 uur was de concentratie nog steeds niet gedaald.

*Figuur 16: proefblussing, concentratie metingen*

*Figuur 17: proefblussing, temperatuur metingen*

Omstreeks 3 uur na de activatie van het systeem werd de ventilatie van de parking ingeschakeld. Het duurde daarna ongeveer 12 uur tot de parking terug kon worden vrijgegeven. Hier merken we op dat een ander concept van ventilatie deze tijd aanzienlijk kan worden ingekort.

# 3 Lijst figuren

Figuur 1: indeling parkeergebouw niveau -2 ... 3
Figuur 2:parkeersysteem, shuttle ... 4
Figuur 3: parkeersysteem, autolift ... 4
Figuur 4: BRE BD2552 rapport, ontwikkeld brandvermogen van wagens in een besloten garage [1] ... 5
Figuur 5: BRE BD2552 rapport, test 1, 21 minuten na ontsteking voertuig links [1] ... 6
Figuur 6: opstelling voertuigen ... 7
Figuur 7: de fase overgangen van koolstofdioxide ... 7
Figuur 8: NFPA12 flooding factors ... 10
Figuur 9: NFPA12, conversion factor for higher concentrations ... 11
Figuur 10: opslagtank CO2 ... 12
Figuur 11: isometrische tekening distributienet ... 13
Figuur 12: controle van de omgeving door de brandweer ... 14
Figuur 13: overdruk, 2’ na activatie ... 14
Figuur 14: overdruk, 3' na activatie ... 14
Figuur 15: overdruk, 3'30" na activatie ... 14
Figuur 16: proefblussing, concentratie metingen ... 16
Figuur 17: proefblussing, temperatuur metingen ... 16

# 4 Referenties

[1] BRE, „BD2552 Fire spread in car parks," Department for Communities and Local Government, London, 2010.

[2] Nederlands Normalisatie-instituut, „NEN 2535 - Brandveiligheid van gebouwen - Brandmeldinstallaties - Systeem- en kwaliteitseisen en projectierichtlijnen," Delft, 1996.

[3] Centrum voor Criminaliteitspreventie en Veiligheid, „Inspectieschema Vastopgestelde Brandbeheersings- en Brandblussystemen - VBB:2008/2 - v2.0," Utrecht, 2008.

[4] National Fire Protection Association, „NFPA 12 - Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems," Quincy Massachusetts, 2008.