



**HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN**

**NAUTISCHE FACULTEIT**

**Vast CO<sub>2</sub>-blussysteem: werking, problematiek  
en bouw van een schaalmodel voor  
educatieve doeleinden**

Arne Dobbelaere  
William Van Laken

Scriptie voorgedragen tot het behalen  
van de graad van  
Master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: Vincent Leysen  
Copromotor: Helen Verstraelen  
academiejaar: 2017 – 2018





**HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN**

**NAUTISCHE FACULTEIT**

**Vast CO<sub>2</sub>-blussysteem: werking, problematiek  
en bouw van een schaalmodel voor  
educatieve doeleinden**

Arne Dobbelaere  
William Van Laken

Scriptie voorgedragen tot het behalen  
van de graad van  
Master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: Vincent Leysen  
Copromotor: Helen Verstraelen  
academiejaar: 2017 – 2018

# Voorwoord

Het doel van deze scriptie is om een schaalmodel van een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem te bouwen dat in de toekomst gebruikt kan worden tijdens de labo's veiligheid op de Hogere Zeevaartschool Antwerpen. Op deze manier kunnen studenten op een interactieve manier de werking van dergelijk blussysteem leren kennen.

Het was mijnheer V. Leysen die het voorstel deed om samen met mevrouw H. Verstraelen een schaalmodel van een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem te bouwen. Dit schaalmodel zou als doel hebben om studenten een extra opleiding aan te bieden en meer kennis te verschaffen over het gebruik van dergelijke blussystemen aan boord. Aangezien dit onderwerp ook een technische uitwerking nodig had, sprak dit project ons meteen aan. Ook zouden wij, door het verwezenlijken van dit project, ervoor kunnen zorgen dat studenten in de toekomst veiliger met deze systemen kunnen werken. Dit gegeven gaf meteen de doorslag om samen voor dit project te kiezen.

Dergelijk project tot een goed einde brengen lukt echter niet alleen. Allereerst zouden wij, Arne Dobbelaere en William Van Laken, onze promotor V. Leysen en copromotor H. Verstraelen willen bedanken voor de vele feedback, informatie en bijsturing die wij hebben gekregen gedurende het verloop van dit project. Ook bedanken we de Hogere Zeevaartschool Antwerpen voor het vrijmaken van een budget, zonder dit was de bouw van dergelijk schaalmodel niet mogelijk geweest.

Bovendien een speciale bedanking voor mijnheer J. Bisot en mijnheer I. Bels van UNIservice Belgium N.V., mijnheer J. Van de Water van Navitec, voor de informatie en het schenken van verscheidene onderdelen voor de bouw van ons schaalmodel. Verder bedanken we nog mijnheer S. Bueken voor de lessen AutoCad die we mochten bijwonen, mijnheer T. De Vuyst voor de hulp bij het ontwerpen van het elektrisch systeem en mijnheer E. Weerdenburg van het bedrijf Ansul N.V. die ons, na een bezoek in Lelystad, op weg heeft geholpen met informatie voor onze scriptie.

Tot slot willen wij ook onze ouders bedanken voor hun hulp en ondersteuning tijdens het uitwerken van deze scriptie en hun hulp bij het bouwproces van het schaalmodel.

# Samenvatting

In het verleden zijn er verschillende incidenten geweest met betrekking tot het gebruik van vaste CO<sub>2</sub>-blussystemen aan boord. Het is belangrijk om de gevaren achter deze systemen te begrijpen zodat ze correct bediend worden in tijden van stress en chaos, wat het geval kan zijn bij een brand aan boord. Uiteindelijk toont de analyse van verschillende ongevallen het belang aan om dergelijk schaalmodel te bouwen voor gebruik aan de Hogere Zeevaartschool Antwerpen.

Een grondig onderzoek van alle specificaties, kenmerken en voorschriften van de onderdelen in een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem, geeft een duidelijker beeld weer over de haalbaarheid van het project en hoe het schaalmodel er zal uitzien. Voor bepaalde onderdelen zijn aanpassingen aangebracht, zodat het gebruik van deze componenten in het schaalmodel beter tot hun recht komen. Het gebruik van CO<sub>2</sub> in het schaalmodel is echter te gevaarlijk, in plaats hiervan wordt perslucht gebruikt. Dit omdat het goedkoper, minder tijdrovend, maar vooral veel veiliger is.

Het schaalmodel wordt gebruikt om een theoretische en praktische les op te stellen. Deze theoretische achtergrond kan samen met het schaalmodel worden gebruikt tijdens de praktische labo lessen veiligheid aan de Hogere Zeevaartschool Antwerpen. Bij het werken met het schaalmodel worden studenten op de hoogte gebracht van de problemen, gevaren en veiligheidsmaatregelen die gepaard gaan met het gebruik van dergelijke vaste CO<sub>2</sub>-blussystemen.

# Abstract

In the past there have been several incidents concerning the use of fixed CO<sub>2</sub> fire-fighting installations on board. It is important to understand the dangers behind these systems and how to use them in times of stress and chaos, which can be the case with an onboard fire. Finally, the analysis of various accidents shows the importance of building a scale model which will be used at the Antwerp Maritime Academy.

A thorough examination of all specifications, features and regulations of each component of a fixed CO<sub>2</sub> firefighting system, allowed the creation of a clearer picture of the scale model and on the feasibility of the project. For some parts, adjustments had to be made so that the use of these components in the scale model would be more suitable. The use of carbon dioxide, however, has proven to be too dangerous. Instead of using CO<sub>2</sub> in the scale model, compressed air is used because it is cheaper, less time-consuming, but most important of all, much safer.

The purpose of the scale model is to create a theoretical and practical course which can be used during the practical safety lessons at the Antwerp Maritime Academy. When working with the scale model students are made aware of the problems, dangers en safety precautions they need to take when using such fixed CO<sub>2</sub> firefighting systems.

# Inhoudstafel

Voorwoord .....	i
Samenvatting .....	ii
Abstract.....	iii
Lijst van figuren.....	vii
Lijst van tabellen .....	xi
Verklarende woordenlijst .....	xii
Schrijfverdeling .....	xv
Inleiding.....	1
Hoofdstuk 1 Theoretische achtergrond.....	3
Hoofdstuk 2 Eigenschappen CO <sub>2</sub> .....	6
Hoofdstuk 3 Veiligheid bij het gebruik van CO <sub>2</sub> .....	7
3.1 Gevaren van CO <sub>2</sub> .....	7
3.1.1 Verstikkend .....	7
3.1.2 Toxisch .....	8
3.1.3 Blootstelling aan CO <sub>2</sub> .....	9
3.2 Veiligheidsaspecten bij het gebruik van vaste CO <sub>2</sub> -installaties.....	10
Hoofdstuk 4 Ongevallenanalyses.....	13
4.1 MSC Flaminia.....	13
4.2 Carolina Maersk .....	15
4.3 Corona Seaways .....	16
4.4 Queen of Surrey.....	16
4.5 Onveilige veiligheidspinnen .....	17
4.6 Onduidelijke systemen.....	18
4.7 Routine-inspectie leidt tot de dood van vier officieren.....	18
4.8 Samenvatting van de oorzaken bij bovenstaande ongevallen .....	20
Hoofdstuk 5 Soorten CO <sub>2</sub> -blussystemen .....	21
5.1 Vaste blussystemen .....	21
5.2 Vaste lagedruk CO <sub>2</sub> -blussysteem .....	21
5.3 Vaste hogedruk CO <sub>2</sub> -blussysteem.....	23
5.4 Soortkeuze voor het schaalmodel .....	23
Hoofdstuk 6 Opslag van CO <sub>2</sub> .....	25
6.1 Algemeen .....	25
6.2 Opslag in het schaalmodel .....	26
Hoofdstuk 7 Detectie, alarmering en ventilatie .....	28

7.1 Detectie.....	28
7.1.1 Algemeen .....	28
7.1.2 Detectie voor het schaalmodel .....	28
7.2 Alarmering.....	29
7.2.1 Algemeen brandalarm .....	29
7.2.2 Alarmen in het CO <sub>2</sub> -systeem.....	29
7.2.3 Alarmering voor het schaalmodel .....	29
7.3 Ventilatie.....	30
7.3.1 Algemeen .....	30
7.3.2 Ventilatie voor het schaalmodel.....	30
Hoofdstuk 8 Het schaalmodel.....	31
8.1 Aanvang van het bouwproces.....	31
8.2 Voorbereiding van het bouwproces .....	31
8.2.1 Voorbereidingen vanuit de bachelorproef .....	31
8.2.2 Schets van het schaalmodel.....	32
8.2.3 P&ID van het schaalmodel .....	33
8.2.4 Lijst van onderdelen.....	34
8.2.5 Voorbereiding op het bouwen.....	38
8.3 Het bouwproces.....	39
8.3.1 Het kader.....	39
8.3.2 Installatie van de onderdelen .....	40
8.3.3 Bouw elektrische schakeling.....	43
8.3.4 Afwerking van het systeem.....	44
8.4 Verschillen tussen schaalmodel en realiteit .....	44
Hoofdstuk 9 Elektrische schakeling van het schaalmodel .....	49
9.1 Theoretisch toe te passen elektrische schakeling in het schaalmodel.....	49
9.1.1 Ventilatie door middel van de ventilator.....	49
9.1.2 Vooralarm .....	49
9.1.3 CO <sub>2</sub> -alarm.....	50
9.1.4 Verdragingsmechanisme .....	50
9.2 Effectief ontwerp van de elektrische schakeling in het schaalmodel .....	51
9.2.1 Inhoud van de elektriciteitskast.....	52
9.2.2 Elektrische schema's .....	55
9.2.3 Schema van de aansluitklemmen .....	59
Hoofdstuk 10 Educatief lessenpakket.....	60
10.1 Verslag testlessen .....	60



10.1.1 Activeringsinstructies.....	60
10.1.2 Conclusie testlessen.....	61
10.2 Theoretical part about fixed high-pressure CO <sub>2</sub> total flooding fire-extinguishing system in engine rooms.....	62
10.2.1 Definitions.....	62
10.2.2 Purpose of a proper knowledge about a CO <sub>2</sub> fire extinguishing system.....	63
10.2.3 Working principle of CO <sub>2</sub> .....	64
10.2.4 Dangers related to the use of CO <sub>2</sub> fire extinguishing systems.....	65
10.2.5 Main components and working principle.....	66
10.2.6 Operational procedure.....	69
10.2.7 Safety precautions after CO <sub>2</sub> release.....	70
10.2.8 Practical part using the scale model.....	71
10.3 Instruction movie.....	72
10.4 Description of the system for teachers.....	72
10.4.1 CO <sub>2</sub> release cabinet.....	73
10.4.2 Time delay unit.....	74
10.4.3 CO <sub>2</sub> cylinders.....	74
10.4.4 Manifold and main valve.....	75
10.4.5 Engine room + ventilation.....	75
10.5 Operational manual.....	76
10.5.1 Overview of the system.....	76
10.5.2 Manual.....	78
Hoofdstuk 11 Onderdelenlijst.....	102
11.1 Onderdelen in de elektriciteitskast.....	102
11.2 Vertragsmechanisme.....	104
11.3 Overige onderdelen.....	105
Besluit.....	108
Bibliografie.....	109
Bijlagen.....	114
Lijst van bijlagen.....	114
Bijlagen.....	114
Bijlage 1: foto's van verschillende onderdelen.....	114
Bijlage 2: handleiding Dold tijdcontactor IK7817N.81/200.....	119

# Lijst van figuren

Figuur 1 De branddriehoek .....	3
Figuur 2 Fase diagram voor CO <sub>2</sub> .....	6
Figuur 3 Vergelijking tussen correcte installatie en effectief uitgevoerde installatie.....	13
Figuur 4 (a en b) Onduidelijke onderverdeling bij vanop afstand bediende systemen .....	18
Figuur 5 P&ID lagedruksysteem met opslagtank.....	22
Figuur 6 P&ID hogedruksysteem met vijf cilinders voor de opslag van CO <sub>2</sub> .....	23
Figuur 7 Vergelijking van de voor- en nadelen tussen een lagedruksysteem (links) en een hogedruksysteem (rechts) .....	24
Figuur 8 CO <sub>2</sub> -cilinders met houten rooster, in rijen van twee.....	26
Figuur 9 Cilinderklep .....	26
Figuur 10 Eerste schets van het schaalmodel.....	32
Figuur 11 P&ID van het schaalmodel.....	33
Figuur 12 Rangschikken van de onderdelen om een uiteindelijk beeld te krijgen.....	39
Figuur 13 Stalen frame van het schaalmodel .....	40
Figuur 14 Stalen frame met geplaatste houten wanden.....	40
Figuur 15 Installatie van de eerste onderdelen .....	41
Figuur 16 Extra vulonderdeel bij de stuurcilinders.....	42
Figuur 17 Drukverminderingsventiel .....	42
Figuur 18 Tijdsvertragingsmechanisme .....	43
Figuur 19 Sleutelkast.....	44
Figuur 20 CO <sub>2</sub> -bedieningspaneel .....	45
Figuur 21 Vulkraan voor stuurcilinders.....	45
Figuur 22 Slang van de vulkraan naar de stuurcilinders .....	45
Figuur 23 Mechanisch tijdsvertragingsmechanisme .....	46
Figuur 24 Vulkraan op CO <sub>2</sub> cilinders.....	46
Figuur 25 CO <sub>2</sub> -cilinders .....	46
Figuur 26 Manometer van de stuurcilinders .....	46
Figuur 27 Manometer op het verdeelstuk.....	47
Figuur 28 Verdeelstuk.....	47
Figuur 29 Leiding.....	47
Figuur 30 Overdrukventiel met leiding naar buiten .....	47

Figuur 31 Spuitstuk .....	48
Figuur 32 Inhoud van de elektriciteitskast.....	52
Figuur 33 Elektrisch schema deel één: 24V transformator en automaten .....	55
Figuur 34 Elektronisch schema deel twee: ventilator, stopcontact, verlichting .....	56
Figuur 35 Elektrisch schema deel drie: volledige stuurkring .....	57
Figuur 36 Aansluitklemmen van het elektrisch systeem .....	59
Figure 37 Bursting disc on CO <sub>2</sub> cylinder .....	63
Figure 38 P&ID with identification numbers .....	66
Figure 39 Legend of the components of the P&ID .....	67
Figure 40 Overview of the build scale model .....	76
Figure 41 Pressure gauge on a compressor .....	78
Figure 42 Bypass valve, closed position .....	78
Figure 43 Air connection valve, closed position .....	78
Figure 44 Main release valve, closed position .....	79
Figure 45 CO <sub>2</sub> cylinder filling piece, closed position .....	79
Figure 46 Adjusting the cylinder valve release screw .....	79
Figure 47 CO <sub>2</sub> cylinder release valve, closed position .....	80
Figure 48 Pilot cylinder release valves, closed position .....	80
Figure 49 Pilot cylinders filling valve, closed position .....	80
Figure 50 Power cable, plugged in .....	81
Figure 51 Emergency button.....	81
Figure 52 Light switch .....	81
Figure 53 Ventilator + ventilator cover .....	82
Figure 54 Fire damper of the engine room.....	82
Figure 55 Red key box.....	82
Figure 56 Opening the CO <sub>2</sub> release cabinet .....	83
Figure 57 Opening of pilot cylinder valves.....	83
Figure 58 Compressor connected on pilot cylinder filling piece .....	83
Figure 59 Pilot cylinder filling valve, open position .....	84
Figure 60 Pressure gauge on the pilot cylinders, indicating 9 bars .....	84
Figure 61 Closing of the pilot cylinder valves .....	84
Figure 62 Disconnection from the pilot cylinder filling piece.....	85
Figure 63 Pressure gauge on the pilot cylinders.....	85

Figure 64 Pilot cylinder filling valve, closed position .....	85
Figure 65 CO <sub>2</sub> release cabinet, closed position .....	86
Figure 66 CO <sub>2</sub> cylinder release valve, open position .....	87
Figure 67 Opening of the pin inside the CO <sub>2</sub> cylinder valve .....	87
Figure 68 Connected compressor on the CO <sub>2</sub> cylinder filling piece .....	87
Figure 69 CO <sub>2</sub> filling piece, compressor connection open .....	88
Figure 70 CO <sub>2</sub> cylinder release valve, closed position .....	88
Figure 71 Adjusting the screw on the CO <sub>2</sub> cylinder release valve .....	88
Figure 72 Compressor disconnected from the CO <sub>2</sub> filling piece .....	89
Figure 73 CO <sub>2</sub> cylinder filling piece, compressor coupling closed .....	89
Figure 74 CO <sub>2</sub> filling piece, opened to the manifold side .....	89
Figure 75 Green starting button .....	90
Figure 76 Black reset button .....	90
Figure 77 Red stop button .....	90
Figure 78 Emergency switch .....	91
Figure 79 Light switch .....	91
Figure 80 Green start button .....	92
Figure 81 Black reset button .....	92
Figure 82 Ventilation flap, closed position .....	92
Figure 83 Fire damper from the engine room, close position .....	93
Figure 84 Key box .....	93
Figure 85 Opening of the CO <sub>2</sub> release cabinet .....	93
Figure 86 Visual alarm .....	93
Figure 87 Opening of the pilot cylinder filling valves .....	94
Figure 88 Activation of the main release valve, right lever .....	94
Figure 89 Main release valve, open position .....	94
Figure 90 Activation of the time delay unit, left lever .....	94
Figure 91 Time delay unit, activated .....	95
Figure 92 Visual alarm .....	95
Figure 93 CO <sub>2</sub> cylinders, open position .....	95
Figure 94 CO <sub>2</sub> release cabinet, closed position .....	96
Figure 95 Pressure switch inside CO <sub>2</sub> release cabinet .....	96
Figure 96 Black reset button .....	96

Figure 97 Red stop button .....	96
Figure 98 Opening of the CO <sub>2</sub> release cabinet.....	97
Figure 99 Both release valves, open position .....	97
Figure 100 Bypass on the time delay unit.....	97
Figure 101 Pilot cylinder filling valve, open position .....	98
Figure 102 Pressure gauge on the pilot cylinders, indicating zero .....	98
Figure 103 Pressure gauge on the pressure reduction valve, indicating zero.....	98
Figure 104 Closing of the main release valve, with wrench no.15 .....	99
Figure 105 Red key box.....	99
Figure 106 Stop, start, reset button .....	100
Figure 107 Light and emergency switch .....	100
Figuur 108 Häger contactor ESC425S .....	102
Figuur 109 Häger contactor ESC225S .....	102
Figuur 110 Häger contactor ESC 427) .....	102
Figuur 111 Häger automaat 16 A.....	103
Figuur 112 Häger automaat 20 A.....	103
Figuur 113 Dold tijdcontactor .....	103
Figuur 114 Teco transformator.....	103
Figuur 115 Dold tijdcontactor .....	104
Figuur 116 Elektrisch ventiel.....	104
Figuur 117 Druksensor .....	104
Figuur 118 Kogelkraan .....	105
Figuur 119 Bernstein drukschakelaar .....	105
Figuur 120 Wika manometer .....	105
Figuur 121 Overdrukventiel .....	106
Figuur 122 Omal pneumatische actuator .....	106
Figuur 123 Schneider contactblok, normally open.....	106
Figuur 124 Schneider contactblok, normally closed.....	106
Figuur 125 Ventomatic ventilator .....	107
Figuur 126 Wika drukverminderventiel .....	107
Figuur 127 Schneider lampentoren .....	107
Figuur 128 BTicino audioalarmen .....	107

## Lijst van tabellen

Tabel 1 Onderverdeling brandstoffen volgens ISO 3941.....	3
Tabel 2 Effect van zuurstof op het menselijk lichaam .....	7
Tabel 3 Effecten van CO <sub>2</sub> op het menselijk lichaam .....	8
Tabel 4 Samenvatting van bovenstaande ongevallen .....	20
Tabel 5 Plaatsingsvoorwaarden voor rook- en warmtedetectore .....	28
Tabel 6 Onderdelenlijst van de eerste, bovenstaande schets.....	32
Tabel 7 Onderdelen in de P&ID van het schaalmodel .....	33
Tabel 8 Verklaring van de inhoud van de elektriciteitskast.....	52
Tabel 9 Beschrijving elektrisch schema, deel één .....	55
Tabel 10 Beschrijving van het elektrisch schema deel twee .....	56
Tabel 11 Beschrijving van het elektrische systeem deel drie .....	58
Tabel 12 Activeringsinstructies op het CO <sub>2</sub> -bedieningspaneel.....	60
Tabel 13 Voor- en nadelen van het aanbrengen van overeenstemmende nummering op het schaalmodel .....	61
Table 14 Advantages of using CO <sub>2</sub> as a fire extinguishing agent.....	64
Table 15 Disadvantages of the use of CO <sub>2</sub> as a fire extinguishing agent .....	66
Table 16 Identification of the components shown on the P&ID .....	67
Table 17 Instruction to use the scale model.....	72
Table 18 Identification of the components shown in the overview of the build scale model .....	77

# Verklarende woordenlijst

Bar	Een eenheid van druk
<i>Boundary cooling</i>	Het rondom koelen van een ruimte door deze met water te bespuiten
Brandbeveiligingsstation	Ruimte waar de brandopname of brandbeheersapparatuur gecentraliseerd is.
<i>Bypass valve</i>	Klep die ervoor zorgt dat, in geval van een defect, een onderdeel kan gepasseerd worden zonder de werking van het systeem te blokkeren.
Druksensor	Elektronisch onderdeel dat een elektronisch signaal uitstuurt wanneer een bepaalde druk wordt waargenomen.
<i>EEBD</i>	Emergency Escape Breathing Device
EMSA	European Maritime Safety Agency
Eplan electric	Programma dat wordt gebruikt om elektrische schema's te tekenen.
Fluidsim	Simulatieprogramma dat wordt gebruikt om elektrische schema's virtueel te testen.
FSS-code	International code for Fire Safety Systems
IMO	International Maritime Organisation
Inerteren	Het zuurstofpercentage in een ruimte verlagen
ISO	International Organisation for Standardization
Kritisch punt	Het kritisch punt is een combinatie van één bepaalde waarde van temperatuur, druk en densiteit. Om de overgang van één bepaald gedrag naar andere aan te duiden.
<i>Muster List</i>	Een lijst waarop de taken van elk bemanningslid beschreven staat, in geval van brand of andere noodgevallen

Normally closed	Een elektrisch contact dat zich in de gesloten positie bevindt wanneer er geen stroom aanwezig is.
Normally open	Een elektrisch contact dat zich in de open positie bevindt wanneer er geen stroom aanwezig is.
Oxidator	Een oxidator of elektronenacceptor is een chemische stof die in een chemische reactie elektronen kan opnemen
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram; plan waarop alle leidingen en onderdelen aangeduid staan en verbonden worden met elkaar.
PLC	Programmable logic controller is een elektronisch apparaat met een microprocessor die op basis van informatie op zijn diverse ingangen, zijn uitgangen aanstuurt.
Pneumatische actuator	Luchtmotor die wordt geplaatst op een klep. Door middel van luchtdruk wordt de motor aangestuurd, deze opent vervolgens een klep.
PVC	Polyvinylchloride, een specifieke soort plastic
Ro-ro schip	Roll-on -roll-off schip. Schip specifiek gebruikt voor rollende lading.
Saturatie	Een graadmeter voor de hoeveelheid zuurstof die aan hemoglobine in de rode bloedcellen gebonden is
SOLAS	Safety Of Life At Sea
Solenoïde klep	Een elektrische stroom wordt door een solenoïde gestuurd. Dit zal ervoor zorgen dat een klep geopend of gesloten wordt.
Stelschroef	Schroef die gebruikt wordt om een ventiel, klep, ... bij te stellen.
Tripelpunt	Een toestand waarbij een stof, in evenwicht, in drie fases tegelijk voorkomt.



UniSafe	Onderdeel van het bedrijf UniService Belgium NV dat gespecialiseerd is in het plaatsen en onderhouden van vaste CO <sub>2</sub> blusinstallaties
<i>US-coastguard</i>	Amerikaanse kustwacht
VHF-radio	Very High Frequency radio

# Schrijfverdeling

Aangezien wij onze scriptie samen hebben geschreven, is hieronder een tabel met de schrijfverdeling opgesteld.

Hoofdstuk 1 Theoretische achtergrond	Arne Dobbelaere
Hoofdstuk 2 Eigenschappen CO <sub>2</sub>	Arne Dobbelaere
Hoofdstuk 3 Veiligheid bij het gebruik van CO <sub>2</sub>	Arne Dobbelaere
Hoofdstuk 4 Ongevallenanalyses	Arne Dobbelaere
Hoofdstuk 5 Soorten CO <sub>2</sub> -blussystemen	William Van Laken
Hoofdstuk 6 Opslag van CO <sub>2</sub>	William Van Laken
Hoofdstuk 7 Detectie, alarmering en ventilatie	William Van Laken
Hoofdstuk 8 Het schaalmodel	
8.1 Aanvang van het bouwproces	Arne Dobbelaere
8.2 Voorbereiding van het bouwproces	
8.2.1 Voorbereidingen vanuit de bachelorproef	William Van laken
8.2.2 Schets van het schaalmodel	William Van Laken
8.2.3 P&ID van het schaalmodel	William Van Laken
8.2.4 Lijst van onderdelen	William Van Laken
8.2.5 Voorbereiding op het bouwen	Arne Dobbelaere
8.3 Het bouwproces	Arne Dobbelaere
8.4 Verschillen tussen schaalmodel en realiteit	William Van Laken
Hoofdstuk 9 Elektrische schakeling in het schaalmodel	
9.1 Theoretisch toe te passen elektrisch schema	William Van Laken
9.2 Effectief ontwerp van het elektrisch schema	Arne Dobbelaere
Hoofdstuk 10 Educatief lessenpakket	
10.1 Verslag testlessen	William Van Laken
10.2 Theoretical part about fixed CO <sub>2</sub> systems	William Van Laken
10.3 Instruction movie	William Van Laken – Arne Dobbelaere
10.4 Description for teachers	Arne Dobbelaere
10.5 Operational manual	Arne Dobbelaere
Hoofdstuk 11 Onderdelenlijst	Arne Dobbelaere
Besluit	William Van Laken – Arne Dobbelaere

# Inleiding

De aanleiding tot het uitvoeren van dit onderzoek is de problematiek die er heerst rond het gebruik van vaste CO<sub>2</sub>-blusinstallaties aan boord van koopvaardij schepen. Deze scriptie onderzoekt welke ongevallen er reeds gebeurd zijn, waarbij CO<sub>2</sub>-blussystemen faalden of verkeerd werden gebruikt en wat hiervan de oorzaak was. Het is de bedoeling om uit deze fouten te leren zodat deze in de toekomst vermeden worden. De hypothese van dit werk luidt: *“Er komen te vaak ongevallen voor met een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem door constructiefouten, foutief onderhoud en onvoldoende kennis/opleiding van de gebruiker ervan. Door het bouwen van een schaalmodel op de Hogere Zeevaartschool Antwerpen zullen studenten inzicht kunnen verwerven omtrent de werking, het nut, het gebruik en de gevaren van zulke blusinstallaties.”*

Het schaalmodel helpt om studenten vertrouwd te maken met het gebruik van vaste CO<sub>2</sub>-blusinstallatie. Op deze manier hopen we een steentje bij te dragen tot de veiligheid aan boord van koopvaardij schepen.

Rekening houdend met de internationale regelgevingen en technische vereisten, is uitgezocht welke onderdelen nodig zijn voor de constructie van het schaalmodel. Dit om het schaalmodel zo conform mogelijk met de realiteit te kunnen construeren. Het uittekenen van een bouwplan geeft een overzicht van het schaalmodel, dit helpt om een visueel beeld te creëren van het eindresultaat. Dit bouwplan bestaat uit een schets, het pijpleidingendiagram en een elektrisch plan. Dit resulteert in een overzichtelijk geheel. Om meer kennis te verkrijgen omtrent de onderdelen en de werking van CO<sub>2</sub> zelf, zijn twee bedrijven bezocht, UniService Belgium NV in Antwerpen en Ansul in Lelystad, Nederland. Gesprekken met de medewerkers van deze bedrijven hebben de werking van het systeem verduidelijkt. Hun expertise was van onschatbare waarde.

Na alle kennis vergaard te hebben omtrent de vaste CO<sub>2</sub>-blusinstallaties, is het schaalmodel gebouwd en is een lessenspakket samengesteld om op een educatieve, didactische en praktische wijze de kennis omtrent zulke vaste CO<sub>2</sub>-blussystemen over te brengen aan de studenten op de Hogere Zeevaartschool.

Om diverse, cruciale ruimtes te beschermen tegen brand en de daaropvolgende schade, wordt CO<sub>2</sub> als blusmedium ingezet. Hoofdstuk 1 beschrijft eerst het effect op de branddriehoek, vervolgens de klasse waarbij het medium werkzaam is en tenslotte het werkingsprincipe op de brandhaard.

Daarnaast is het belangrijk om de technische gegevens van de stof te vermelden, in hoofdstuk 2, zodat dit een duidelijk beeld geeft over de verschillende eigenschappen van CO<sub>2</sub>.

Bij het gebruik van CO<sub>2</sub> speelt veiligheid een belangrijke rol en is dit niet zonder risico. Daarom is het belangrijk om de verschillende gevaren van dit gas aan te kaarten. Om niet te worden blootgesteld aan de mogelijke gevaren van CO<sub>2</sub>, bespreekt hoofdstuk 3 de veiligheidsaspecten en veiligheidsregels, van persoonlijke beschermingskledij tot maatregelen die men kan nemen om de aanwezigheid van gas kenbaar te maken.

Hoofdstuk 4 analyseert enkele ongevallen die zich in het verleden hebben voorgedaan met vaste CO<sub>2</sub>-blussystemen. Deze ongevalanalyses vormen de basis om het belang van een schaalmodel op de Hogere Zeevaartschool te benadrukken en de studenten hierin een extra basisopleiding te geven. De conclusies die uit de ongevalanalyses worden getrokken zijn gebruikt om de nadruk te leggen op de gevaren, valkuilen en mogelijke problemen die voorkomen bij het gebruik van deze systemen.

Hoofdstuk 5 geeft weer welke soorten vaste brandblussystemen met CO<sub>2</sub> bestaan, welk van deze systemen het vaakst voorkomen en vooral van welk soort systeem er een schaalmodel wordt gebouwd. Nadien verduidelijkt hoofdstuk 6 hoe de opslag van CO<sub>2</sub> aan boord voorkomt. De regelgeving rond de detectie van brand, de alarmering en de ventilatie aan boord, staan vermeld in hoofdstuk 7 en worden daarna toegepast in het schaalmodel. Hoofdstuk 8 illustreert het bouwproces van het schaalmodel weer aan de hand van plannen waarbij elk onderdeel benoemd is via nummering. Alle onderdelen die nodig zijn om het schaalmodel te kunnen bouwen zijn hierin opgelijst. Het hierop volgende hoofdstuk 9 beschrijft alle elektrische onderdelen die in het schaalmodel voorkomen.

Hoofdstuk 10 bevat een Engelstalig educatief lessenpakket dat gebruikt kan worden in de lessen brandveiligheid. Samen met dit lessenpakket, het schaalmodel en de bijhorende *manual* kunnen docenten hun kennis omtrent een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem overbrengen aan de studenten. Hoofdstuk 11 lijst de verschillende onderdelen op die voorkomen in het schaalmodel. Deze onderdelenlijst beperkt zich tot de verschillende componenten die gevoelig zijn voor slijtage en die na verloop van tijd aan vervanging kunnen toe zijn.

# Hoofdstuk 1 Theoretische achtergrond

Verbranding is een complexe chemische reactie. In het algemeen is het een reactie tussen een brandbare stof en een oxidator (zuurstof). Bij dit proces komt warmte en licht vrij in verschillende intensiteiten (Corbett, 2009).



Figuur 1 De branddriehoek  
Bron: ("Kleine blusmiddelen - brandweer Zandhoven", z.d.)

Om een brand te starten zijn zuurstof, energie (temperatuur) en brandstof nodig. Deze worden in bovenstaande figuur 1 voorgesteld door de branddriehoek. In andere voorstellingen wordt ook over het brandviervlak en vijfvlak gesproken waarbij de kettingreactie en de mengverhouding de vierde en vijfde zijde zijn (Corbett, 2009). Beide elementen zijn factoren die de brand beïnvloeden maar niet noodzakelijk zijn om een brand te veroorzaken, hiervoor zijn de drie basiselementen voldoende. De elementen van de branddriehoek vormen samen een gunstige atmosfeer om een brand te creëren, een kettingreactie uit te lokken en deze reactie ook gaande te houden. Bij het wegnemen van een van de zijden van de driehoek, zal dit de brand uitdoven (De Gryze, 1998).

Om een brand correct te kunnen bestrijden is er een opdeling gemaakt van de verschillende soorten brandstoffen die kunnen voorkomen.

Tabel 1 Onderverdeling brandstoffen volgens ISO 3941  
Bron: bewerkt van Cowley (2002)

Brandstof	ISO 3941 norm
Brandbare vaste stoffen	A
Brandbare vloeistoffen	B
Brandbare gassen	C
Elektrische apparatuur	Geen indeling
Brandbare metalen	D
Keukenolie of vetten	F

Bovenstaande tabel 1 geeft een overzicht van de onderverdeling, in klassen, volgens de ISO 3941 norm die in Europa wordt gebruikt. Deze opdeling is nodig aangezien niet elk blusmiddel op iedere klasse hetzelfde effect heeft. In praktijk zien we hiervoor een aanduiding van de klasse, op het brandbestrijdingsmiddel, waarop het blusmiddel een goede blussende werking heeft (Cowley, 2002).

Branden kunnen worden bestreden door middel van: verstikking, afkoeling, het afsluiten van de brandstof toevoer of het onderbreken van de kettingreactie. Deze manieren van brandbestrijding hebben een invloed op de verschillende zijden van de branddrie- en vierhoek. Enkele voorbeelden van brandbestrijdingsmiddelen zijn water, schuim, poeder, CO<sub>2</sub>, ...

Dit blusmedium is aan boord terug te vinden als vaste installatie en in brandblussers (Verstraelen, 2014). De vaste installaties worden onder andere ingezet bij het beschermen van de machinekamer en grote ruimten zoals in containerschepen en bulkschepen. Het juiste gebruik en kennis van het systeem zijn cruciaal om een brand effectief te kunnen bestrijden en zo de veiligheid van het schip en de bemanning te kunnen garanderen. In hoofdstuk 3.2 wordt hierop dieper ingegaan en wordt het belang van de juiste handeling en het in acht nemen van de veiligheid bij deze systemen benadrukt.

Bij brandbestrijding heeft CO<sub>2</sub> invloed op twee zijden van de branddriehoek. De belangrijkste invloed die CO<sub>2</sub> heeft, is de zuurstof in de ruimte verdrijven om zo het vuur te verstikken. Bij een daling tot een zuurstofpercentage van 14 - 15% is er onvoldoende zuurstof in de ruimte aanwezig om de brand gaande te houden (Corbett, 2009). Bij gewone oppervlakte branden zal 35% CO<sub>2</sub> per volume-eenheid voldoende zijn om de brand te bestrijden. Bij brandhaarden die dieper liggen, zoals bij smeulende branden of branden van elektrische installaties, zal dit percentage moeten stijgen naar 50% - 75% per volume eenheid (Skaggs R, 1998).

Een tweede zijde waarop CO<sub>2</sub> een invloed heeft is deze van energie (temperatuur). In vaste blusinstallaties en in brandblusser komt CO<sub>2</sub> voor in zijn vloeibare vorm. Wanneer CO<sub>2</sub> gebruikt zal worden bij brandbestrijding, zal door de expansie CO<sub>2</sub>-sneeuw worden gevormd. Deze sneeuw heeft een temperatuur van -79,5 °C en zal een koelend effect hebben op de brand en de daarrond liggende ruimte. Dit effect is echter, in tegenstelling tot zuurstofverdriving, verwaarloosbaar (Corbett, 2009).

Verder zal het gas, bij het verlaten van het systeem, onder hoge druk (56 bar bij 20°C) de vlammen wegduwen van het brandbare materiaal (Ansul, z.d.). Deze twee laatst genoemde effecten hebben een kleinere invloed ten opzichte van het verstikkende effect, maar zijn van belang bij het blussen van grote ruimtes waarbij grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> worden gebruikt (VEBON-NOVB & VIVB, 2015).

CO<sub>2</sub> werkt goed bij klasse B branden en bij branden waarbij elektrische apparatuur aanwezig is. Op overige klassen heeft CO<sub>2</sub> geen tot weinig effect. Het gas kan bij klasse A branden niet diep genoeg doordringen en kan het smeulen van de vaste onderdelen niet stoppen. (American Bureau of Shipping, 2017)

# Hoofdstuk 2 Eigenschappen CO<sub>2</sub>

Om in de hierop volgende hoofdstukken een correct beeld te krijgen van CO<sub>2</sub>, is in onderstaande lijst een opsomming van de eigenschappen te vinden. Deze eigenschappen zijn van belang om te begrijpen waarom bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> in een vloeibare toestand aan boord opgeslagen is, een toenemende omgevingstemperatuur problemen geeft, ... Onderstaande figuur geeft de relatie weer tussen de verschillende fasen van CO<sub>2</sub>.

<b>Chemische formule</b>	CO <sub>2</sub>
<b>Volume in lucht</b>	0,039%
<b>Synoniem</b>	Koolstofdioxide
<b>Relatieve moleculaire massa</b>	44,01 g/mol
<b>Dichtheid, gasvormig (bij 1,013 bar, 15°C)</b>	1,87 kg/m <sup>3</sup>

Triple punt (bij 1,013 bar)

<b>Temperatuur</b>	216,56K (-56,56 °C)
<b>Druk</b>	5,1867 bar
<b>Smeltwarmte</b>	204,93 KJ/kg

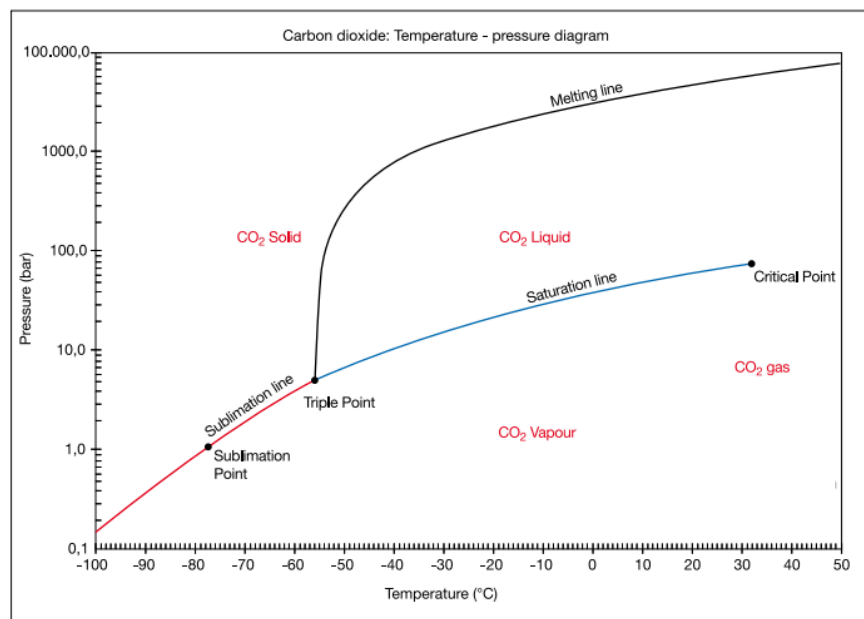
Kritisch punt (bij 1,013 bar)

<b>Temperatuur</b>	30,98 °C
<b>Druk</b>	73,773 bar
<b>Densiteit</b>	467,6 kg/m <sup>3</sup>

Fysiologische eigenschappen

<b>Reuk</b>	Geurloos
<b>Kleur</b>	Kleurloos
<b>Toxiciteit</b>	Toxisch bij > 5000 ppm en verstikkend

(Air Liquide, 2016; PGS, 2014)



Figuur 2 Fase diagram voor CO<sub>2</sub>

Bron: IPCC special report on carbon dioxide capture and storage (2005)



# Hoofdstuk 3 Veiligheid bij het gebruik van CO<sub>2</sub>

## 3.1 Gevaren van CO<sub>2</sub>

### 3.1.1 Verstikkend

Eén van de grootste gevaren bij CO<sub>2</sub> is verstikking. Koude gasen hebben een hogere dichtheid dan de atmosferische lucht en zullen hierdoor slecht vermengen. Bij het gebruik van CO<sub>2</sub> als brandbestrijdingsmiddel is het net de bedoeling om de aanwezige zuurstof in de ruimte te verdringen. Dit maakt het onmogelijk voor personen om zonder bescherming in de ruimte aanwezig te zijn. Het gevaar van de hoge dichtheid van CO<sub>2</sub> stelt zich vooral nadat de brand is geblust. Om het gas uit de ruimte te verdrijven is het noodzakelijk om goed te ventileren en een meting uit te voeren om de aanwezige CO<sub>2</sub>-concentratie te bepalen. Door slechte ventilatie kunnen bepaalde lagergelegen ruimten, zoals putten of kuilen, een ophoping hebben van CO<sub>2</sub> in gevaarlijk hoge concentratie.

Ook de kleur-, geur-, smaakloosheid zorgt voor een extra gevaarlijke factor. Personen die aan een te hoge concentratie van het gas worden blootgesteld kunnen zonder voorafgaande symptomen het bewustzijn verliezen en sterven door verstikking. Wanneer een persoon bevangen raakt door CO<sub>2</sub>, kunnen omstanders de neiging hebben de ruimte te betreden zonder zich af te vragen wat de oorzaak van het bewustzijnsverlies is. De kleur- en reukloosheid zal de aanwezigheid van het gas niet verraden. Hierdoor ondergaan deze personen hetzelfde lot.

Een normale atmosfeer bevat 20,9% zuurstof. Elke vermindering hiervan moet worden beschouwd als gevaarlijk en daarom moeten er voorzorgsmaatregelen worden getroffen. Tabel 2 hieronder geeft de effecten van een verlaagde concentratie zuurstof weer (PGS, 2014).

Tabel 2 Effect van zuurstof op het menselijk lichaam  
Bron: bewerkt van European Industrial Gases Association (2003)

O <sub>2</sub> (Vol %)	Effecten en symptomen op het lichaam
<b>20,9</b>	- Veilig.
<b>18 - 20,9</b>	- Geen symptomen. Zuurstofmeter alarmeert bij waarden lager dan 19,5%, ruimte onmiddellijk verlaten.
<b>11 - 18</b>	- Onbewuste vermindering van fysieke en mentale.
<b>8 – 11</b>	- Mogelijkheid tot bewustzijnsverlies binnen enkele minuten. Kans op sterven onder 11%.
<b>6 – 8</b>	- Bewustzijnsverlies na korte periode. Reanimatie onmiddellijk starten.
<b>&lt; 6</b>	- Onmiddellijk bewustzijnsverlies. - Hersenbeschadiging, zelfs bij redden van het slachtoffer. - Intrede van de dood na 2 tot 4 minuten.

### 3.1.2 Toxisch

Een tweede aspect van CO<sub>2</sub> waarmee men rekening moet houden is de toxiciteit. Wanneer er nog steeds een voldoende concentratie zuurstof aanwezig is in de ruimte kan CO<sub>2</sub> toch tot intoxicatie leiden. In het menselijk lichaam wordt CO<sub>2</sub> als afvalproduct gevormd door de stofwisseling en verlaat het lichaam via het ademhalingsstelsel. CO<sub>2</sub> is een zuur en heeft als eigenschap de zuurtegraad in het bloed te verlagen. De pH waarde van het bloed, zal steeds tussen 7,35 en 7,45 liggen (PGS, 2014). Als in een ruimte een hogere hoeveelheid CO<sub>2</sub> aanwezig is kan dit de zuurtegraad in het bloed doen dalen. Dit fenomeen noemt men acidose. Deze daling in pH wordt door het lichaam gecompenseerd door een diepere en snellere ademhaling. Indien de acidose verder toeneemt zullen slaperigheid, hoofdpijn en misselijkheid de volgende symptomen zijn. Uiteindelijk kan de bloeddruk beginnen dalen, met als gevolg shock, coma en overlijden. (De Merck manual, 2003)

Tabel 3 Effecten van CO<sub>2</sub> op het menselijk lichaam  
Bron: bewerkt van PSG-9 (2014)

CO <sub>2</sub> (Vol %)	Effecten op het lichaam
<b>0,03 – 0,05</b>	Geen (CO <sub>2</sub> gehalte in de atmosfeer op zeeniveau)
<b>0,5</b>	Geen (wettelijke grenswaarde)
<b>1 – 1,5</b>	Effect op de chemische stofwisseling na enkele uren.
<b>3</b>	Diepere en sneller ademhaling. Vergiftigingsverschijnselen, hoofdstuk 3.1.3, worden merkbaar na 30 min blootstelling.
<b>5 – 10</b>	Intensievere ademhaling, hoofdpijn en verlies van beoordelingsvermogen.
<b>10 – 100</b>	Boven de 10% zal dit leiden tot bewustzijnsverlies binnen één minuut.

Verder zal bij een toxische concentratie, vanaf één Vol %, CO<sub>2</sub> hetzelfde effect optreden als bij CO. Deze beide stoffen kunnen zich aan hemoglobine hechten om getransporteerd te worden door het lichaam. Bij een stijging van de concentratie is de affiniteit van CO<sub>2</sub> groter dan die van zuurstof. Dit zal ervoor zorgen dat de CO<sub>2</sub> elke plaats op hemoglobine zal bezetten zodat het niet mogelijk is om verder nog O<sub>2</sub> door het lichaam te transporteren. Deze daling van O<sub>2</sub> en de saturatie zal ervoor zorgen dat het lichaam verward geraakt doordat er onvoldoende zuurstof wordt aangevoerd. Dit leidt tot een intoxicatie en verstikking (Antigifcentrum, z.d.).

### **3.1.3 Blootstelling aan CO<sub>2</sub>**

Wanneer het lichaam wordt blootgesteld aan CO<sub>2</sub> hangt de concentratie (tabel 3), nauw samen met de snelheid waarmee de symptomen optreden.

Bij een blootstelling aan 1% CO<sub>2</sub> treden milde symptomen op zoals spiertrekkingen, spasmen, blozen, zweten en verminderde concentratie. Vanaf 5% CO<sub>2</sub> treden ernstigere symptomen op zoals: hoofdpijn, desoriëntatie, versnelde/moeizame ademhaling, hyperventilatie, verhoogde bloeddruk en duizeligheid.

Bij hogere concentratie, vanaf 10%, kunnen deze symptomen verder gaan naar, stuipen, schuim op de lippen, bewustzijnsverlies, coma en uiteindelijk de dood. De snelheid waarmee deze symptomen voorkomen hangen samen met de concentratie en de tijdsduur waaraan iemand wordt blootgesteld. Hoe hoger de CO<sub>2</sub> concentratie en hoe langer daaraan blootgesteld, hoe groter het gevaar en de gevolgen zijn voor de mens (HSDB, 2015; Langford, 2005).

Bij het in aanraking komen met de huid of de ogen kunnen vrieswonden ontstaan. Het is belangrijk om de patiënt onmiddellijk naar een veilig zone te brengen, warm te houden en indien nodig de beademing te starten. De ogen moeten lang en zorgvuldig gespoeld worden met water, hiervoor moet het oog wijd open worden gesperd. Indien er contact is met de huid moet deze overvloedig gespoeld worden met lauw water. De kleding mag niet verwijderd worden en de wonden moeten afgedekt worden met steriele kompressen (Airgas, 2016), (Air Products, 2016).

### **3.2 Veiligheidsaspecten bij het gebruik van vaste CO<sub>2</sub>-installaties**

Bij het gebruik en onderhoud van vaste CO<sub>2</sub>-blusinstallaties aan boord, is het belangrijk te weten welke veiligheidsaspecten en voorzorgen noodzakelijk zijn bij het gebruik van deze systemen. De CO<sub>2</sub>-cilinders worden opgeslagen in speciaal ontworpen, afgesloten ruimtes. Deze opslagruimtes worden aan boord niet regelmatig betreden, enkel voor het onderhoud van het systeem. Enkele voorbeelden van onderhoudsinspecties aan boord zijn: lektesten, fleshoeveelheden meten, uitblazen van de leidingen,... Wanneer bij één van deze testen lekken gevonden worden of er cilinders zijn waarbij de CO<sub>2</sub> inhoud minder is dan verwacht, worden de bemanningsleden hoogstwaarschijnlijk blootgesteld aan een te hoge concentratie CO<sub>2</sub>. Daarom is het gebruik van een zuurstofmeter bij het betreden van deze ruimtes een absolute voorwaarde. Als de zuurstofmeter bij het betreden van de ruimte een onvoldoende concentratie zuurstof meet, moet de ruimte worden betreden met ademluchtbescherming zoals deze staat beschreven in de SOLAS en de FSS-code. Indien het betreden van de ruimte niet hoogdringend is, kan er vooraf lang en grondig geventileerd worden om CO<sub>2</sub> volledig uit de ruimte te verdrijven. (Mohit, 2017).

Zoals vermeld in hoofdstuk 2 is het gas kleur- en reukloos. Om dit gevaar te minimaliseren kan er gebruik worden gemaakt van citronella. Citronella is een product dat op het vaste CO<sub>2</sub>-systeem kan worden geïnstalleerd. Indien er in het systeem een lek is of als het systeem geactiveerd wordt, zal citronella automatisch toegevoegd worden. Deze stof geeft een sterke citroengeur aan het gas. Dit kan in het geval van een weglekkend gas of een accidentele activatie iedereen op de aanwezigheid van CO<sub>2</sub> attent maken. Deze toepassing is enkel in vaste landinstallaties verplicht, maar zou aan boord een meerwaarde kunnen geven aan de veiligheid van de bemanning (VEBON-NOVB & VIVB, 2015).

Wanneer er een lek aanwezig is in het systeem en het gas via de leidingen weglekt, is het mogelijk dat de druk in de cilinders daalt onder het tripelpunt en er 'droogijs' wordt gevormd. Wanneer het droogijs in de dunne leiding komt kan dit verstoppingen veroorzaken. Deze blokkades komen aan het licht wanneer de leidingen worden doorgeblazen met droge perslucht. Aangezien verstoppingen ook kunnen worden veroorzaakt door roestvorming, bestaat het gevaar dat de bemanning er zich niet van bewust is dat er ook een blokkade van droogijs mogelijk is. Bij het verwijderen van deze verstopping, kan door de nog steeds heersende druk van CO<sub>2</sub> achter de verstopping, een prop droogijs naar de bemanning schieten, met de bijhorende verwondingen als gevolg.

Het is dus nodig om bij onderhoud aan deze leidingen, een minimum van beschermde kledij zoals een bril en handschoenen te dragen (PGS, 2014), (Linde AG, z.d.).

Bij het onderhoud en gebruik van het systeem moet iedereen de veiligheidssystemen die in het systeem zijn ingebouwd kennen. Zo zijn er bij het CO<sub>2</sub>-systeem alarmen ingebouwd die reageren als de deur van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel geopend wordt. Ook het uitvallen van ventilatoren en het sluiten van brandkleppen zijn veiligheidsmaatregelen die worden geactiveerd bij het openen van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel. Bij onvoldoende kennis van het systeem en bijhorende alarmen kan dit leiden tot ongevallen (The Nautical Institute, 2010).

Bij het gebruik van CO<sub>2</sub> in de machinekamer moet men rekening houden dat er machines aanwezig zijn die zuurstof nodig hebben om te functioneren. Wanneer de ventilatie wordt gestopt, door het openen van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel en er CO<sub>2</sub> in de machinekamer wordt gebracht, zal dit effect hebben op de prestaties van de hoofdmotor en bijstaande generatoren, met een black-out tot gevolg. Hierdoor is het belangrijk om vooraf de noodgenerator te controleren en op te starten. Zo blijven de nodige pompen voor het bluswater, noodverlichting en andere noodzakelijke apparatuur die nodig zijn voor de navigatie en de veiligheid van het schip in werking (Mohit, 2017).

In ruimtes waar ontvlambare dampen aanwezig zijn en er kans op ontbranding is, lijkt het een oplossing om deze dampen te verdrijven met CO<sub>2</sub> aangezien deze een inerte werking heeft. Bij het inzetten van CO<sub>2</sub> wordt, zoals eerder vermeld, droogijs gevormd. Dit droogijs kan door de leidingen statisch geladen worden. Wanneer dit bij het spuitstuk aan het einde van de leiding komt, kan dit een vonk veroorzaken die de ontvlambare dampen laat ontbranden (Samotra, 2016).

Na het gebruik van CO<sub>2</sub> voor het blussen van een brand, moet de omgevingstemperatuur van de ruimte gecontroleerd worden. Deze controle gebeurt door middel van het opmeten van de temperaturen in de aanliggende ruimtes, bijvoorbeeld rond de machinekamer. Ook kan er door middel van reeds aanwezige temperatuursensoren of het plaatsen van deze sensoren in de ruimten een monitoring gebeuren (Brady Co, 1994). Indien de temperatuur te hoog is en de ruimte wordt te vroeg geventileerd, bestaat de kans dat door de aanwezige warmte de brand terug opflakkert. Om de ruimte binnenin voldoende te kunnen afkoelen gebruikt men een techniek waarbij de buitenzijde van de ruimte wordt gekoeld door middel van water, ook gekend als *boundary cooling*.

Na het blussen wordt er een inspectie uitgevoerd met de nodige brandbeschermingskledij die voorzien is in de FSS-code en de SOLAS (IMO, 2017).

Wanneer de brandbestrijding al aan de gang is en er verschillende teams elkaar afgelost hebben, kan er verwarring optreden over wie zich waar bevindt. Vooraleer er wordt beslist om CO<sub>2</sub> in te zetten, is het belangrijk om te verzamelen aan het evacuatiepunt om een tweede telling uit te voeren om er zeker van te zijn dat er niemand in de ruimte aanwezig is wanneer er CO<sub>2</sub> wordt ingezet (Samotra, 2016).

Het inzetten van grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> kan een grote druktoename als gevolg hebben. Het extra volume stroomt een afgesloten ruimte binnen, bijvoorbeeld een machinekamer, onder hoge druk en snelheid. Deze drukgolf zorgt voor een positieve druk, die groot genoeg kan zijn om structuren van de ruimte te beschadigen. Hierdoor zijn bij het inzetten van CO<sub>2</sub> maatregelen nodig die ervoor moeten zorgen dat deze druk de machinekamer veilig kan verlaten, om schade te vermijden (PGS, 2014).

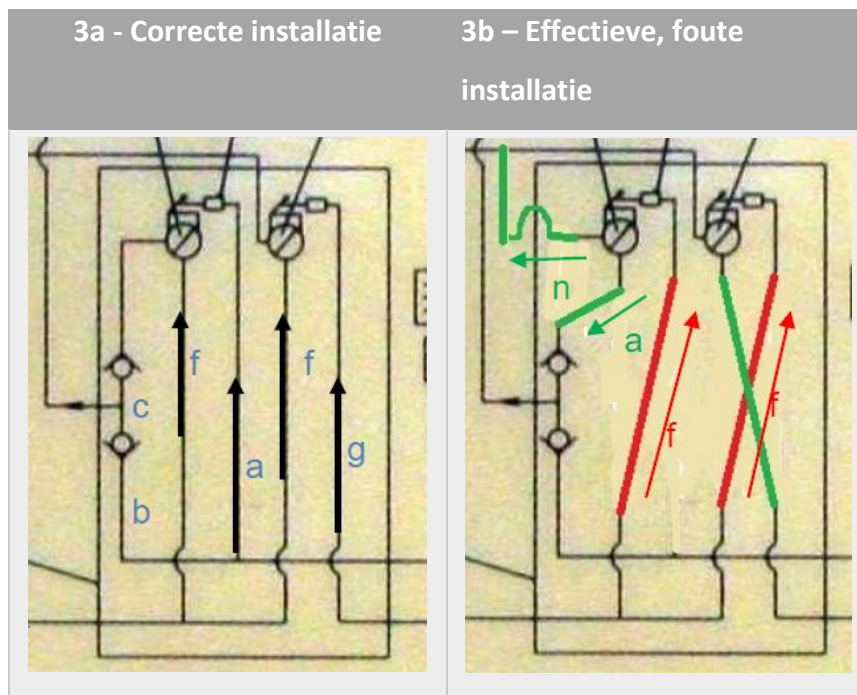
# Hoofdstuk 4 Ongevallenanalyses

De analyse van enkele ongevallen geeft de mogelijke valkuilen en gevaren bij het gebruik van vaste CO<sub>2</sub>-systemen weer. Hiermee wordt de noodzaak van een schaalmodel en een bijhorende opleiding aangetoond.

## 4.1 MSC Flaminia

Op 14 juli 2014 omstreeks 0550 werd het algemeen alarm geluid nadat één van de officieren rook had opgemerkt afkomstig uit ruim vier. Aangezien het onduidelijk was wat de rook veroorzaakte, werd er beslist om het vaste CO<sub>2</sub>-blussysteem te activeren. Bij de activatie ging onverwacht het CO<sub>2</sub> alarm in de machinekamer af, iets wat afweek van de normale procedure. Door dit alarm werden de veiligheidssystemen geactiveerd; hierdoor werden verschillende ventilatoren, boilers en uiteindelijk de hoofdmotor uitgeschakeld. De oorzaak van de onverwachte activatie van het alarm kon door de scheepswerktuigkundigen niet gevonden worden.

Het probleem in het vaste CO<sub>2</sub>-blussysteem was reeds aanwezig tijdens de bouw van het schip. Ondanks dat het rapport bevestigde dat het systeem meerdere keren was getest door de classificatie maatschappij en de bouwer/ontwerper, was er een sterk vermoeden dat het verkeerd monteren van de leidingen reeds in de nieuwbouw aanwezig was.



Figuur 3 Vergelijking tussen correcte installatie en effectief uitgevoerde installatie.

De juist installatie van het systeem wordt afgebeeld op figuur 3a. Op figuur 3b is de verkeerde installatie van de leidingen aangeduid door de a, f, n verbindingen

Bron: Federal bureau of Maritime Casualty investigation (2014)

Deze fout in de installatie leidde ertoe dat er verschillende verkeerde sensoren en alarmen afgingen. Dit had tot gevolg dat de hoofdmotor uitviel en het schip in een cruciale periode onbestuurbaar was. Figuur 3 geeft een uitvergroot beeld van de noodactivatie ruimte waar de verkeerd gemonteerde leidingen getoond worden. Figuur 3a illustreert de correcte installatie van het systeem, hoe deze was getekend op het plan. Figuur 3b toont de effectieve installatie van het systeem aan boord. De letters a, n en f tonen de verkeerde installatie van de leidingen.

De activatie van CO<sub>2</sub>-systemen werd beschermd met verschillende alarmen: openen van de deur, breken van het glazen paneel van de sleutel, ... Beide glazen paneeltjes waren hier onbeschadigd. Hieruit kon worden afgeleid dat het alarm niet afkomstig kon zijn van het openen van de deuren bij het controlepaneel. Ook stonden stuurkleppen één en twee van de noodactivatie in de open positie, iets wat een onderdeel is voor het inzetten van het systeem indien er een noodactivatie noodzakelijk is voor de machinekamer. Aangezien deze kleppen nooit open mochten staan besloot de onderzoekscommissie dat dit het gevolg was van een operationele fout van de bemanning.

Het volgen van de volledige procedure van het CO<sub>2</sub>-systeem had in dit geval nooit correct gewerkt. Ondanks het correcte stappenplan, dat aanwezig was, waren er toch enkele onvolledigheden in de instructies. Zo werd verwezen naar een volgend deel van het instructieblad, voor het vervolg van de procedure, dat niet correct en onvolledig was. Ook de instructies voor het hanteren van de driewegkranen om CO<sub>2</sub> naar de ruimen te sturen was niet correct. Een schema in de controlekamer werd gebruikt om de hoeveelheid CO<sub>2</sub> te bepalen; dit werd bij de brandbestrijding niet gevolgd.

De taken van de bemanningsleden in geval van nood werden niet opgevolgd. Niemand slaagde er in het probleem te vinden of de visueel zichtbare, openstaande noodkleppen op te merken. Enkel de eerste en tweede werktuigkundige hadden een opleiding en training gehad om het systeem correct te bedienen.

### **Conclusie**

- De verkeerde installatie van het systeem was de voornaamste oorzaak van de problemen tijdens de brandbestrijding.
- Inspectie van het systeem had ervoor moeten zorgen dat de onjuiste installatie aan het licht kwam.



- Onvoldoende training van de bemanningsleden zorgde ervoor dat slechts twee personen aan boord capabel waren om het systeem correct te bedienen.
- Onvoldoende training van brandoefeningen toonde duidelijk aan dat taken die moesten uitgevoerd worden in geval van nood, niet nauwkeurig werden uitgevoerd en dat niet iedereen wist wat zijn taak inhield (Federal bureau of Maritime Casualty investigation, 2014).

## **4.2 Carolina Maersk**

Het incident deed zich voor op 26 augustus 2015 omstreeks 1600 uur. De derde officier, die op wacht stond, kreeg melding van een rookdetector in ruim negen. Toen de vermoedelijke brandhaard werd ontdekt, besliste de kapitein om het vaste CO<sub>2</sub>-blussysteem in te zetten. Na het tellen van de bemanning op het achterdek, haastte de hoofdwerktuigkundige zich naar de CO<sub>2</sub>-kamer met een EEBD. Op het moment dat CO<sub>2</sub> werd ingezet, was er een ontploffing in de controlekamer en werd CO<sub>2</sub> door de deur naar buiten geblazen. De hoofdwerktuigkundige inspecteerde de leidingen waaruit bleek dat de hoofddistributieklep voor de ruimen niet was geopend en de dichting van deze leiding was gebarsten. Doordat de kleppen van de stuurcilinders niet correct geopend waren, zou CO<sub>2</sub> uit de stuurcilinders ontsnapt zijn. Hierdoor was er onvoldoende druk om de distributieklep te openen. Het scheuren van de dichting werd veroorzaakt door een plotse drukgolf, door de vrijgekomen CO<sub>2</sub>, in combinatie met een slecht geopende distributieklep. Na de klep manueel te hebben geopend en een tweede lading CO<sub>2</sub> naar ruim negen te sturen, was er volgens de kapitein voldoende CO<sub>2</sub> in het ruim gebracht om de brand neer te slaan. Tijdens de brandbestrijding was het onduidelijk of CO<sub>2</sub> het best geschikte blusmedium was, aangezien de juiste brandhaard niet kon worden bepaald en men niet juist wist wat aanwezig was in de containers.

### **Conclusie**

- Het systeem was recentelijk gecontroleerd maar deze controle hield niet in dat er werd getest onder druk.
- Het falen van de distributieklep, door de onvolledige opening van de stuurklep van de stuurcilinders, was het gevolg van onvoldoende training en kennis van het volledige systeem (Danish Maritime Accident Investigation Board, 2016).

### **4.3 Corona Seaways**

Op 4 december 2013 omstreeks 0215 werd er brand gedetecteerd op het hoofddek van het ro-ro-schip Corona Seaways. De brand was afkomstig van een brandende lading en onmiddellijk werd beslist om alles in gereedheid te brengen om het vaste CO<sub>2</sub>-systeem te gebruiken. De ventilatie werd afgezet en verschillende teams werden aangeduid om de ventilatieopeningen te sluiten. Nadat de fitter, die geen radio bij zich had, gevonden werd besliste de kapitein om het CO<sub>2</sub>-systeem te gebruiken. De installatie was enkele maanden daarvoor volledig gevuld en getest om de functionaliteit van het systeem te garanderen. Om een effectieve blussing te krijgen moest de volledige inhoud van de tank binnen de vijftien minuten op het hoofddek worden ingezet. Om onbekende reden slaagde het systeem er niet in om, op automatische wijze, deze voorziene hoeveelheid in te zetten. Na een tweede poging om de volledige tank te ledigen, was de hoofdwerktuigkundige genoodzaakt om manueel in de CO<sub>2</sub>-kamer het systeem in werking te stellen. Uiteindelijk bleek dat het gebruik van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> voldoende was om de brand neer te slaan en uit te doven.

#### **Conclusie**

- Niemand aan boord kon de fout uit het systeem halen, ook de onderzoekers achteraf niet. Ondanks een recentelijk onderhoud van het systeem functioneerde het niet correct.
- Het bedienen van de ventilatiekleppen verliep niet bij elk bemanningslid even vlot. Enkele bemanningsleden kenden de juiste procedure niet om deze kleppen te sluiten. Hierdoor bleven sommige kleppen deels openstaan en had zuurstof de mogelijkheid om het vuur verder te voeden en CO<sub>2</sub> uit de ruimte te verdringen (Marine Accident Investigation Branch, 2014).

### **4.4 Queen of Surrey**

Door een brand in de machinekamer op 12 mei 2003 werd beslist het vaste CO<sub>2</sub>-systeem aan boord te activeren. Het systeem werd geactiveerd vanuit de controlekamer boven de CO<sub>2</sub>-cilinder ruimte. Deze ruimten werden van elkaar gescheiden door een luik. Bij het activeren van het systeem was een luide knal hoorbaar. Door deze ontploffing, en het onvoldoende sluiten van het luik, werd dit open geblazen. De ontploffing werd veroorzaakt door het scheuren van de verdelingsklep waardoor CO<sub>2</sub> in het opslagcompartiment lekte. Ondanks het lek werd voldoende CO<sub>2</sub> in de machinekamer gebracht om de brand neer te slaan.

## **Conclusie**

- Onderhoud aan boord werd uitgevoerd door externe bedrijven. Deze onderhoudswerkzaamheden werden achteraf niet meer gecontroleerd door de verantwoordelijke officieren. Hierdoor werd de indruk gewekt dat het CO<sub>2</sub>-systeem niet onder de verantwoordelijkheid viel van de officieren.
- Onvoldoende opleiding en bewustmaking van het belang van het systeem en het onderhoud leidde ertoe dat dit systeem in erbarmelijke staat was. Zo waren er gebroken koppelingen, verkeerd geïnstalleerde onderdelen, gebogen en verkeerd geplooid rubberen flexibels, ... Onvoldoende ondersteuningspunten stelden de distributieleiding bloot aan grote afschuifkrachten, buigmomenten, torsiëkrachten en vermoeiingsverschijnselen door de verkeerde installatie.
- Op vlak van veiligheid waren er geen ingebouwde systemen die ervoor konden zorgen dat het ongewenst vrijkomen van CO<sub>2</sub> in de machinekamer kon worden gedetecteerd of gestopt. Stuurcilinders konden op deze manier in de machinekamer leeglopen in geval van lekkages, zonder dat iemand het opmerkte (Transportation Safety Board of Canada, 2003).

## **4.5 Onveilige veiligheidspinnen**

Tijdens een jaarlijkse inspectie, op een bepaald schip, werd door de aannemer vastgesteld dat bij verschillende CO<sub>2</sub>-cilinders de veiligheidspinnen niet waren verwijderd. Dit had als gevolg dat het systeem niet kon werken indien het geactiveerd werd bij brand. Het verwijderen van deze veiligheidspinnen bij elke cilinder individueel was een tijdrovend werk, zeker in geval van brand.

## **Conclusie**

- Het onvoldoende controleren en uitvoeren van inspecties van de blussystemen aan boord heeft er bij deze gevallen toe geleid dat een cruciaal onderdeel in de werking van het systeem onopgemerkt is gebleven.
- Men was er zich onvoldoende van bewust dat deze veiligheidssystemen aanwezig waren. Hierdoor werden deze over het hoofd gezien en creëerde men onnodige risico's (Couttie, 2010).

## 4.6 Onduidelijke systemen

Tijdens inspecties van de Amerikaanse kustwacht in 2014 bleek dat vele CO<sub>2</sub>-systemen en vanop afstand bestuurde kleppen voor de brandstof zich in eenzelfde ruimte bevinden. Een duidelijk onderscheid tussen beide systemen was niet in één oogopslag duidelijk. Figuur 4 toont een voorbeeld van deze verwarring. Hierbij is figuur 4a een uitvergroting van 4b. De instructies om de brandstoftoevoer af te sluiten is te vinden in figuur 4b aan de linkerzijde, maar de kabels waaraan moet getrokken worden bevinden zich uiterst rechts, de rode labels in figuur 4a. Tussen de uitleg en de kabels bevinden zich nog drie andere kabels die het CO<sub>2</sub>-systeem bedienen. Dit zorgt ervoor dat wanneer er chaos aan boord is, in geval van een brand, een vergissing snel gebeurd is. Onduidelijke en onvoldoende labels zorgen ervoor dat deze vergissingen kunnen gemaakt worden (United States Coast Guard, 2012).



Figuur 4 (a en b) Onduidelijke onderverdeling bij vanop afstand bediende systemen.

Figuur 4a is een uitvergroting van 4b. Hierbij duiden de labels, in figuur 4a, de kabels aan die de brandstoftoevoer afsluiten.

De instructies om deze kabels te bedienen staat uiterst links, in het zwarte kader in figuur 4b.

Bron: United States Coast Guard (2012)

## 4.7 Routine-inspectie leidt tot de dood van vier officieren

Op 24 september 2004 werd een routine-inspectie van het vaste CO<sub>2</sub>-systeem aan boord uitgevoerd. Per vergissing werden 96 cilinders geactiveerd. Het gas zat vast in de verdeelleiding en kon niet verder door de gesloten hoofdklep. De rederij werd gecontacteerd om een oplossing te zoeken om de CO<sub>2</sub> op een veilige manier uit de leiding in de atmosfeer te brengen. Een zelfgemaakte buis die op de verdeelleidingen kon aangesloten worden zou gefabriceerd moeten worden aan boord, zodat CO<sub>2</sub> veilig kon ontsnappen.

Om deze zelfgemaakte buis te monteren werd het systeem doorgeslepen, net voorbij het verdeelstuk. Bij het invaren van de volgende haven werd er niets gerept over dit incident aan de havenautoriteit. De bemanning had op dit moment de leidingen van het systeem reeds doorgeslepen. Bij het installeren van de zelfgemaakte koppeling en leiding waren de kapitein, eerste officier, hoofdwerktuigkundige en eerste werktuigkundige aanwezig. Wanneer een poging werd gedaan om de druk van de leiding te halen barstte deze open. De vrijgekomen CO<sub>2</sub> zorgde ervoor dat geen van de bovengenoemde bemanningsleden de ruimte levend konden verlaten.

### **Conclusie**

- Onvoldoende kennis van de hoofdwerktuigkundige bij het testen van het systeem vormt de aanleiding van dit ongeval.
- Door de onwetendheid van de bemanning en de rederij werd de ernst van het gevaar onderschat. Er was geen geschreven instructie vanuit de rederij om dit incident veilig op te lossen.
- Bij het aansluiten en openen van de leiding werd geen rekening gehouden met het dragen van ademluchtbescherming of andere veiligheidsvoorschriften.
- De instructies van de rederij waren enkel in het Japans. Dit zorgde ervoor dat andere bemanningsleden of autoriteiten de situatie, het gevaar en oplossing niet konden inschatten (Leung, 2005).

## 4.8 Samenvatting van de oorzaken bij bovenstaande ongevallen

Onderstaande tabel 4 geeft een overzicht van de oorzaken bij voorgaande ongevallen. Bij elk ongeval is het gebrek aan training, kennis en opleiding een wederkerend item. Dit maakt duidelijk waarom een extra opleiding en bijhorend schaalmodel noodzakelijk is. Deze bijkomende opleiding kan bestaan uit een lessenpakket met bijhorende labo-opdrachten voor de studenten, zodat deze op een zelfstandige manier de valkuilen in het systeem kunnen vinden. Ook bijhorende instructiefilmpjes zullen de werking en de veiligheidsaspecten bij dergelijke systemen benadrukken.

Tabel 4 Samenvatting van bovenstaande ongevallen  
Bron: eigen werk

Ongeval	Oorzaak van het ongeval
<b>MSC Flaminia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkeerde montage tijdens de nieuwbouw.</li> <li>- Het ontbreken van intensieve training voor opgeleide bemanning.</li> <li>- Te weinig bemanning opgeleid in het systeem.</li> <li>- Geen algemene training van brandbestrijding bij de gehele bemanning.</li> </ul>
<b>Carolina Maersk</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controle werd uitgevoerd, maar werd achteraf niet getest.</li> <li>- Falen van het systeem door onvoldoende training.</li> </ul>
<b>Corona Seaways</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Onbekende fout in het systeem.</li> <li>- Niemand was getraind genoeg om deze fout op te sporen in het systeem.</li> <li>- Een gebrek aan algemene training van brandbestrijding bij de gehele bemanning.</li> </ul>
<b>Queen of Surrey</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen controle na het onderhoud.</li> <li>- Systeem is niet voldoende gekend en belang van het systeem is onderschat.</li> <li>- Fouten in de beveiliging van het systeem.</li> <li>- Onvoldoende training in het gebruik van het systeem.</li> </ul>
<b>Onveilige veiligheidspinnen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen inspectie van het systeem.</li> <li>- Onbewust van aanwezige veiligheidssystemen door onvoldoende training en opleiding.</li> </ul>
<b>Routine-inspectie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen veiligheidsprocedures van de rederij.</li> <li>- Geen training.</li> <li>- Onverstaanbare instructies (Japans).</li> <li>- Geen aandacht voor veiligheidsvoorschriften.</li> <li>- Gebrek aan training en systeemkennis voor deze aparte situatie.</li> </ul>

## Hoofdstuk 5 Soorten CO<sub>2</sub>-blussystemen

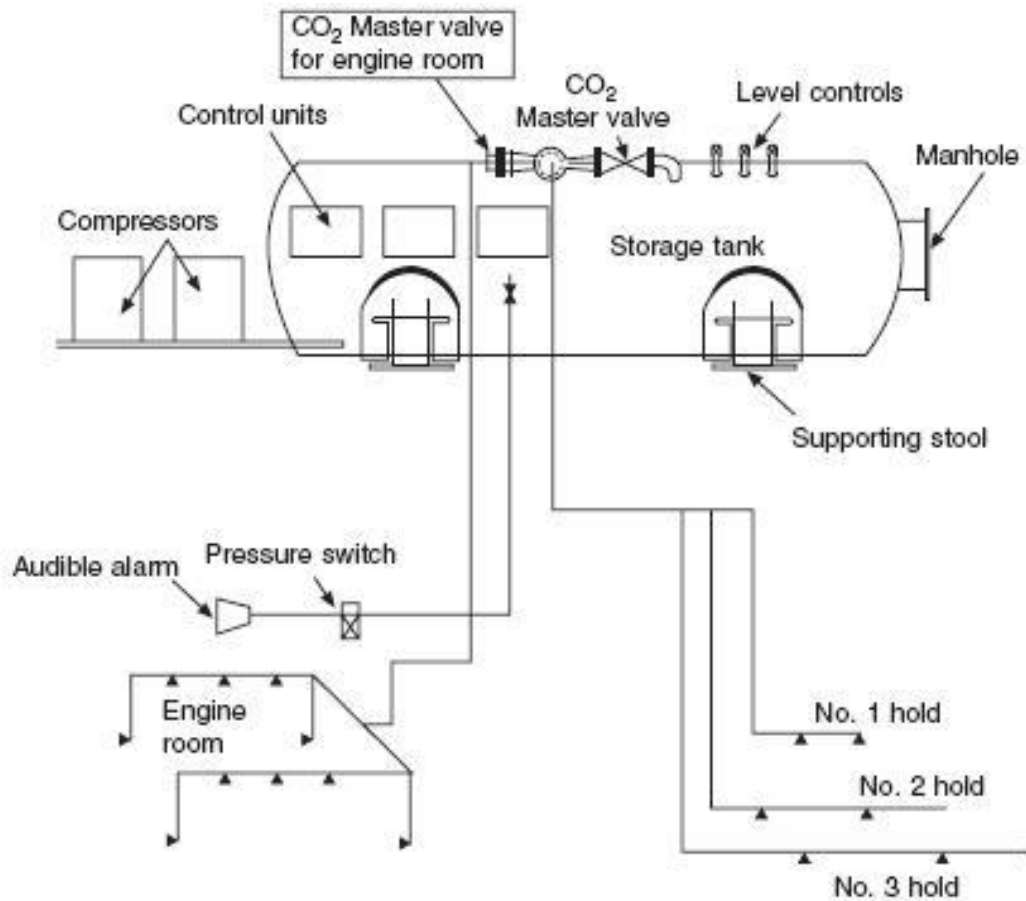
Het gebruik van CO<sub>2</sub> als blusmiddel is bekend onder verschillende vormen. De meest bekende vorm is het hanteren van draagbare brandblussers. Deze cilinders worden gebruikt om een ontwikkelende brand, in een vroeg stadium, te doven. Zowel op schepen als op het vaste land worden vaste CO<sub>2</sub>-blusinstallaties gebruikt. SOLAS-hoofdstuk II-2 voorschrijft tien vermeldt dat branden zo snel mogelijk bestreden moeten worden op de plaats van ontsteking. Vaste blusinstallaties worden geïnstalleerd in ruimtes waar een verhoogd risico is op een snelle uitbreiding van een brand (IMO, 2017). De machinekamers aan boord van schepen behoren tot deze ruimtes. Door de aanwezigheid van hitte en het gebruik van ontvlambare stoffen, is deze ruimte gevoeliger voor brand en zal dus voorzien zijn van een vast CO<sub>2</sub> blussysteem.

### 5.1 Vaste blussystemen

Er bestaan twee soorten vaste CO<sub>2</sub>-blussystemen: het lagedruksysteem en het hogedruksysteem. Deze systemen worden beiden gekenmerkt door de aanwezigheid van een opslagruimte van CO<sub>2</sub> die verbonden is met spuitstukken in de te beschermen ruimte door middel van koperen buizen. Het verschil tussen het lage- en hogedruksysteem is de wijze waarop de CO<sub>2</sub> opgeslagen is (De Gryze Jan, 1998). In 5.2 en 5.3 worden de eigenschappen van de manier waarop CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen uitgelegd. Nadien zal er in 5.4 een vergelijking van de twee systemen samen te vinden zijn, gevolgd door de keuze voor het schaalmodel.

### 5.2 Vaste lagedruk CO<sub>2</sub>-blussysteem

CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen in een grote opslagtank (figuur 5), waarvan het volume voldoende moet zijn om de grootste ruimte aan boord te kunnen vullen (hoofdstuk 6.1). Deze opslagtank moet gekoeld worden om de druk in de opslagtank tussen 18 en 22 bar te houden zoals voorgeschreven in hoofdstuk 5 van de FSS Code (IMO, 2016).



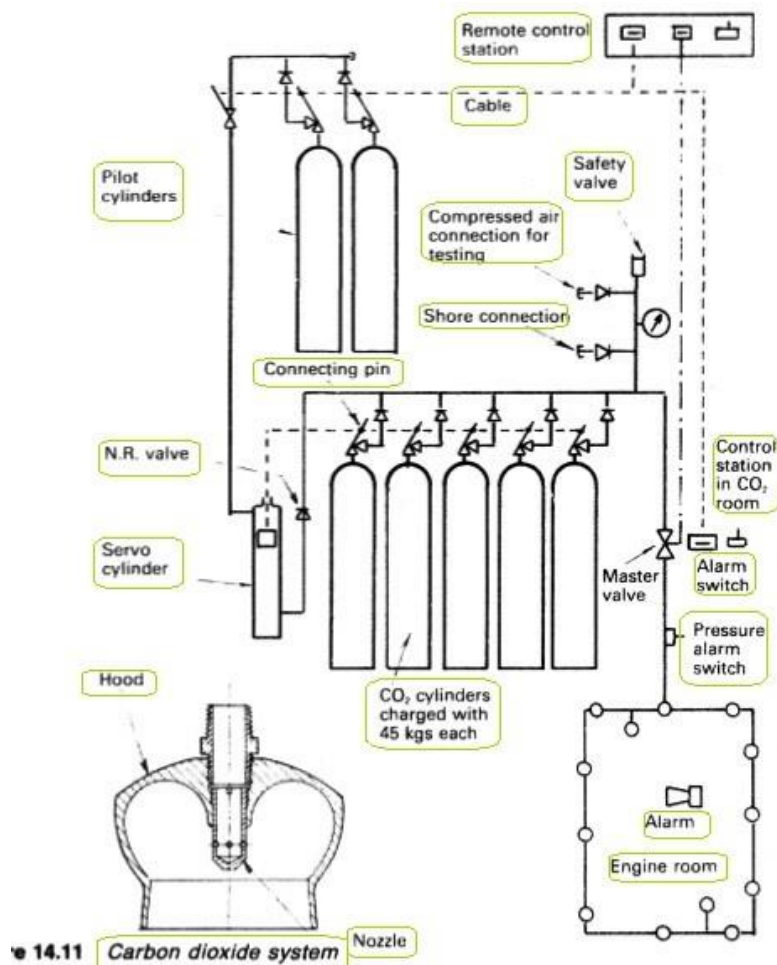
Figuur 5 P&ID lagedruksysteem met opslagtank  
Bron: Bulkcarrier guide (2010)

Het grootste nadeel van dit lagedruksysteem is dat de opslagtank voorzien moet zijn van aanvullende apparatuur om de tank te koelen. Deze aanvullende apparatuur bestaat uit dubbele koelinstallaties waarbij koelwater via pompen gecirculeerd moet worden om de CO<sub>2</sub> op een constante temperatuur te houden. Een vaste temperatuur staat niet weergegeven in de voorschriften. Dit komt omdat er enkel een minimaal percentage van het volume van de te beschermen ruimte is voorgeschreven om het gewicht van CO<sub>2</sub> te berekenen (hoofdstuk 6.1). Dit percentage mag meer, maar niet minder zijn. Hoe meer gewicht aan CO<sub>2</sub> in de opslagtank wordt opgeslagen hoe hoger de druk in de tank zal zijn. Zoals eerder vermeld moet de druk in de tank tussen de 18 en 22 bar zijn. Hoe meer gewicht aan CO<sub>2</sub> in de tank, hoe lager de temperatuur zal moeten liggen. De capaciteit van deze installaties om de temperatuur in de tank, wanneer een schip tijdens een periode van 24 uur in zeewatertemperaturen tot 32°C en luchttemperaturen tot 45°C vaart, op het gewenste peil te houden moet voldoende zijn zoals vermeld in hoofdstuk 5 paragraaf 2.2.4.7 van de FSS Code van de (IMO, 2016).



### 5.3 Vaste hogedruk CO<sub>2</sub>-blussysteem









In tegenstelling tot het lagedruksysteem wordt bij het hogedruksysteem de CO<sub>2</sub> opgeslagen in stalen cilinders, zoals te zien op figuur 6, deze hebben een capaciteit hebben van 30 of 45 kg. Het grote nadeel op schepen is dat het hogedruksysteem meer plaats inneemt door het aantal cilinders. Bijvoorbeeld voor een machinekamer met een volume van 35.000 m<sup>3</sup> zal 80 m<sup>2</sup> plaats worden voorzien voor een CO<sub>2</sub>-kamer. Hierdoor zal het hogedruksysteem met gevulde cilinders ook 42 ton extra wegen, dit wordt in figuur 7 geïllustreerd. (zie figuur 7(Danfoss-Semco, 2013)).



Figuur 6 P&ID hogedruksysteem met vijf cilinders voor de opslag van CO<sub>2</sub>  
Bron: General cargo ship (2010)

### 5.4 Soortkeuze voor het schaalmodel

In figuur 7 wordt de vergelijking gemaakt tussen beide systemen. De nadelen van het hogedruksysteem, zoals bijvoorbeeld plaats en gewicht, kunnen voor de bouw van het schaalmodel echter weggewerkt worden. Er zal gebruik gemaakt worden van vier cilinders met een capaciteit van 5 kg. Op deze manier hoeft plaats en gewicht geen nadeel te zijn voor de bouw van het schaalmodel (hoofdstuk 8).

Required	
 1 tank	 556 cylinders
Size of CO <sub>2</sub> room	
 40 m <sup>2</sup>	 120 m <sup>2</sup>
Weight (empty)	
 13,500 kg	 55,500 kg (with racks)
Weight (filled)	
 38,500 kg	 80,500 kg

Figuur 7 Vergelijking van de voor- en nadelen tussen een lagedruksysteem (links) en een hogedruksysteem (rechts)  
Bron: Danfoss- Semco (2013)

Het grote voordeel van het hogedruksysteem is dat, wanneer het volledig aan boord geïnstalleerd is, er geen externe, aanvullende apparatuur of energie nodig is. Het is daarom ook eenvoudiger te gebruiken dan het lagedruksysteem dat continu gemonitord dient te worden omwille van de koelinstallatie. Maar vooral omdat het hogedruksysteem het vaakst voorkomt op koopvaardij schepen en omdat het doel van deze scriptie is om een zo groot mogelijke positieve impact te hebben op de veiligheid aan boord van koopvaardij schepen, is er gekozen om een schaalmodel te bouwen van het hogedruksysteem.

# Hoofdstuk 6 Opslag van CO<sub>2</sub>

## 6.1 Algemeen

Zoals eerder vermeld in hoofdstuk 5.3 gebeurt de opslag van CO<sub>2</sub> in stalen cilinders die een capaciteit van 30 kg of 45 kg hebben. Het aantal cilinders dat men nodig heeft voor een bepaald schip is afhankelijk van het volume van de grootste te beschermen ruimte. Voor cargo ruimtes die met CO<sub>2</sub> beschermd zijn, moet het gewicht aan opgeslagen CO<sub>2</sub> voldoende zijn om 30% van het totale volume van de grootste, beschermde cargoruimte te vullen. Bij machinekamers zijn het andere waarden. Het nodig gewicht aan CO<sub>2</sub> opgeslagen, moet hier voldoende zijn om een minimum van 40% van het totale volume van de grootste machinekamer op te vullen zoals vermeld in hoofdstuk II-2 van de SOLAS (IMO, 2017). Wanneer het volume van deze ruimte gekend is, kan het nodige gewicht aan CO<sub>2</sub> bepaald worden. De factor die hierbij gehanteerd moet worden is 0,56 kg/m<sup>3</sup> zoals bepaald in de FSS Code hoofdstuk 5 (IMO, 2016). Dit wil zeggen dat 1 kg CO<sub>2</sub> 0,56 m<sup>3</sup> aan volume inneemt. Het bekomen resultaat moet vervolgens gedeeld worden door 30 kg of 45 kg, afhankelijk van welke cilinders gebruikt worden. Op deze manier kan het aantal vereiste cilinders berekend worden (Danfoss-Semco, 2013).

Voorbeeld van een berekening van het aantal CO<sub>2</sub>-cilinders met een capaciteit van 45 kg:

Gegeven: cilinders met een capaciteit van 45 kg, machinekamer met een volume van 6856m<sup>3</sup>, de massadichtheid van CO<sub>2</sub> bedraagt 0,56 kg/m<sup>3</sup> en de machinekamer dient gevuld te worden met CO<sub>2</sub> voor 40% van het totaalvolume

Gevraagd: het aantal CO<sub>2</sub>-cilinders

Uitwerking:  $(6856 \text{ m}^3 \times 0,40) / 0,56 \text{ kg/m}^3 = 4897,14 \text{ kg CO}_2$

$$4897,14 \text{ kg} / 45\text{kg} = 108,8 \Rightarrow 109 \text{ cilinders}$$

Tijdens onderhoud moeten de cilinders gewogen worden om na te gaan of er voldoende CO<sub>2</sub> in zit. Om dit mogelijk te maken worden de cilinders gestockeerd in rechthoekige roosters van één ofwel twee cilinders diep (figuur 8).



Figuur 8 CO<sub>2</sub>-cilinders met houten rooster, in rijen van twee  
Bron: Tyco Seaplus (2014)

Door de aanwezigheid van trillingen aan boord van een schip, die voortkomen uit het draaien van de motor, moet elke cilinder stevig vastgezet worden. Dit wordt gedaan om het ongewenst activeren van cilinders tegen te gaan, zodat er geen CO<sub>2</sub> vrijkomt. Voor het vastzetten van de cilinders worden meestal houten roosters gebruikt (Dr. James Cowley, 2002).

## 6.2 Opslag in het schaalmodel

Na een bezoek aan het bedrijf UniSafe in de Haven Van Antwerpen, waar het doel van deze bachelorscriptie toegelicht is geweest, is er geconcludeerd dat het gebruik van CO<sub>2</sub> voor het schaalmodel te gevaarlijk is, zoals reeds vermeld in hoofdstuk 3. Er werd aangeraden om het schaalmodel te gebruiken met perslucht omdat het veel veiliger is (Biesot Joop, 2016).

Het schaalmodel zal opgebouwd worden met vier cilinders met een capaciteit van 5 kg. Afgaande op de instructies die vermeld staan op de cilinders, waren dit oorspronkelijk draagbare CO<sub>2</sub>-brandblussers voor handmatig gebruik. Deze werden omgevormd naar cilinders voor gebruik in het vast CO<sub>2</sub> blussysteem door het aanbrengen van een cilinderklep (figuur 9).



Figuur 9 Cilinderklep  
Bron: Tyco Seaplus (2014)

De bevestiging van de cilinders en het vastzetten ervan in een houten rooster zoals reeds vermeld in 6.1, is uiteraard wel realiseerbaar. Dit zal dan ook toegepast worden op het schaalmodel.

# Hoofdstuk 7 Detectie, alarmering en ventilatie

Bij elk van deze drie onderdelen zullen de internationale vereisten en de regelgeving omtrent de werking ervan toegelicht worden. Er zal ook telkens bekeken worden of de regelgeving realiseerbaar is voor gebruik in het schaalmodel.

## 7.1 Detectie

### 7.1.1 Algemeen

De detectie van brand wordt onderverdeeld in twee types, automatische en niet-automatische detectiesystemen. Bij de niet-automatische systemen moet een persoon zelf de brand detecteren en vervolgens het alarm activeren door manueel een drukknop in te drukken. Bij een automatisch detectiesysteem worden detectoren gebruikt die reageren op de aanwezigheid van vlammen, rook, warmte of chemische verbrandingsgassen (Verstraelen Helen, 2014).

Deze automatische detectiesystemen worden in hoofdstuk 9 van de FSS Code Vaste Branddetectiesystemen genoemd (IMO, 2016). Een vast branddetectiesysteem moet voorzien worden in ruimtes die, al dan niet tijdelijk, onbemand zijn. Ook de machinekamer die constant gemonitord wordt vanuit de controlekamer moet voorzien zijn van zulk vast detectiesysteem zoals vermeld in hoofdstuk II-2 van de SOLAS (IMO, 2017).

### 7.1.2 Detectie voor het schaalmodel

Om het schaalmodel volledig conform de regelgeving te construeren moet er een detector aanwezig zijn. Om ons te beperken tot de essentie worden enkel de vlammen-, rook- en warmtedetectoren in overweging genomen. Een vlammedetector mag volgens SOLAS 74 II-2 Reg 7 niet gebruikt worden zonder de aanwezigheid van een rook- of warmtedetector (IMO, 2017). Aangezien het schaalmodel voor didactische doeleinden bestemd is, zal het gebruik ervan zo eenvoudig mogelijk gehouden worden en wordt het implementeren van een vlammedetector met bijhorende rook- of warmtedetector uitgesloten.

Tabel 5 Plaatsingsvoorwaarden voor rook- en warmtedetectoren  
Bron: bewerkt van FSS-code (2016)

Type	Maximale oppervlakte per detector (m <sup>2</sup> )	Maximale afstand tussen detectoren (m)	Maximale afstand van <i>waterdicht</i> schot (m)
Warmte	37m <sup>2</sup>	9m	4,5m
Rook	74m <sup>2</sup>	11m	5,5m

De rookdetector heeft, t.o.v. de warmtedetector, het voordeel dat een grotere oppervlakte gedekt is (tabel 5). Het gebruik van een rookdetector zou ook, rekening houdend met het budget, de beste en gemakkelijkste oplossing zijn. Wanneer we in het schaalmodel de te beschermen ruimte afsluiten met plexiglas kan er rook gemaakt worden met een rooktablet zodat het alarm van de rookdetector geactiveerd wordt.

## **7.2 Alarmering**

### **7.2.1 Algemeen brandalarm**

In de ruimte waar brand gedetecteerd wordt, zal zowel een visueel als een auditief alarm geactiveerd worden. Vooral in de machinekamer, waar veel geluid is en waar de bemanning gehoorbescherming draagt, is een visueel alarm noodzakelijk. Een visueel alarm kan voorkomen onder de vorm van een zwaailicht (IFSTA, 2001).

Ook op de brug, waar het controlepaneel van het brandalarm zich bevindt, zullen beide alarmen afgaan (IFSTA, 2001). Vervolgens kan de officier van wacht het alarm bevestigen en de brand lokaliseren aan de hand van indicaties op het controlepaneel. Wanneer binnen de twee minuten dit alarm niet bevestigd wordt, zal een auditief brandalarm in de hele accommodatie van de bemanning, op alle werkplaatsen en in de machinekamer te horen zijn zoals beschreven in de FSS code, hoofdstuk 9 (IMO, 2016). Dit alarm is het algemeen noodalarm (SOLAS III/6.4.2), (IMO, 2017).

### **7.2.2 Alarmen in het CO<sub>2</sub>-systeem**

In een CO<sub>2</sub> systeem zijn twee soorten alarmen aanwezig: het CO<sub>2</sub>-vooralarm en het CO<sub>2</sub>-alarm. Beide alarmen bestaan uit een visueel en auditief signaal. Indien het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel wordt geopend zal het vooralarm worden geactiveerd door middel van een drukschakelaar op de deur van het paneel. Het CO<sub>2</sub>-alarm wordt geactiveerd nadat de CO<sub>2</sub>-cilinders geopend zijn, door middel van een pneumatische drukschakelaar (Biesot Joop, 2016).

### **7.2.3 Alarmering voor het schaalmodel**

De alarmering in het schaalmodel zal gebeuren zoals beschreven werd in 7.2.2. Dit is conform de regelgeving zoals deze beschreven is in de FSS (IMO, 2016).

## **7.3 Ventilatie**

### **7.3.1 Algemeen**

Bij het openen van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel is het dezelfde ingebouwde drukschakelaar, die ervoor zorgt dat alle ventilatie wordt stopgezet (Dr. James Cowley, 2002). Dit is absoluut nodig omdat het CO<sub>2</sub> hogedruksysteem enkel gebruikt kan worden in gesloten ruimtes. Naast de ventilatie die stopt moet, vooraleer het systeem in werking wordt gezet, moet gecontroleerd worden of alle deuren gesloten zijn (Van Dokkum Klaas, 2011).

### **7.3.2 Ventilatie voor het schaalmodel**

Zoals blijkt uit 7.3.1 is het stopzetten van ventilatie een cruciaal element voor het succesvol blussen van branden met dit systeem. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen de ventilatie van de CO<sub>2</sub>-opslagruimte enerzijds en de te blussen ruimte anderzijds. In het schaalmodel zal een ventilator geplaatst worden in de te blussen ruimte die automatisch uitgeschakeld zal worden. Ook een branddemper en ventilatieluik wordt geïnstalleerd; deze kunnen manueel gesloten worden.

De ventilatie in de opslagkamer dient zeker vermeld te worden tijdens het gebruik van het schaalmodel aangezien het een belangrijk aspect is voor de veiligheid aan boord. Omdat het schaalmodel niet afgesloten kan worden, wordt de ventilatie van de CO<sub>2</sub>-opslagkamer niet geïmplementeerd.



# Hoofdstuk 8 Het schaalmodel

## 8.1 Aanvang van het bouwproces

Bij aanvang van onze bachelorscriptie, hebben wij verschillende bedrijven gecontacteerd die dergelijke CO<sub>2</sub>-systemen ontwerpen, onderhouden en installeren. Aangezien het CO<sub>2</sub>-systeem een blussysteem is dat reeds gebruikt wordt aan boord, was het de bedoeling om via deze bedrijven informatie te verkrijgen. Enkele van deze bedrijven zoals Ansul Nederland reageerden hierop positief en hebben ons geholpen in onze zoektocht naar informatie. Na de reactie van UNIsafe, een onderhoudsbedrijf in de Antwerpse haven, kreeg zowel onze bachelorproef alsook onze masterproef vorm.

UNIsafe had reeds in het verleden de vraag gekregen om een schaalmodel van een CO<sub>2</sub>-systeem te bouwen. Hiervoor hadden ze al een deel van het verdeelstuk gelast. Uiteindelijk heeft de zaakvoerder, Joop Biesot, tal van onderdelen gesponsord en ons verder vooruit geholpen met zowel het theoretische als het praktische deel van onze masterscriptie. Hieronder zijn enkel onderdelen opgelijst die door Unisafe werden gesponsord:

- Vier CO<sub>2</sub>-cilinders met bijhorende openingsmechanisme (figuur 9), zoals deze aan boord.
- Het onderste gedeelte van het verdeelstuk.
- Vier CO<sub>2</sub>-slangen
- Een oud CO<sub>2</sub>-bedieningskastje met stuurcilinders om zelf om te bouwen
- De pneumatische hoofdklep met bijhorende actuator.
- Sleutelkast
- ...

Met bovenstaande onderdelen werd een eerste schets gemaakt van het schaalmodel (figuur 10) Dit gaf ons al een eerste beeld van hoe het systeem er ging uitzien.

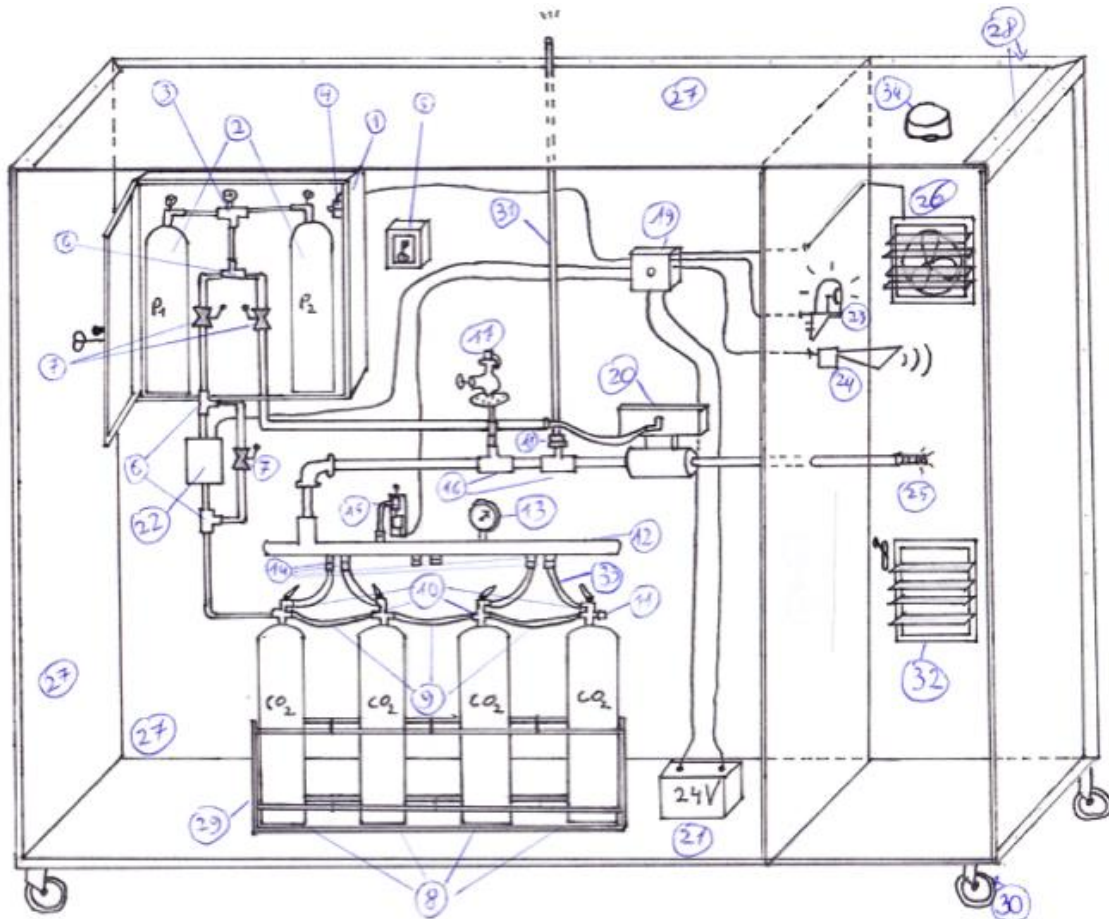
## 8.2 Voorbereiding van het bouwproces

### 8.2.1 Voorbereidingen vanuit de bachelorproef

Bij het maken van de bachelorproef is er een eerste schets en P&ID gemaakt van het schaalmodel. Op deze schets, figuur 10, zijn de onderdelen geplaatst die nodig zijn om het systeem zo realistisch en waarheidsgetrouw mogelijk te maken. Ook is er een lijst bijgevoegd in hoofdstuk 8.2.4 van de verschillende onderdelen, hun functie, eigenschappen en voorwaarden waaraan het onderdeel moet voldoen.

Deze schets was voor ons de basis om van start te gaan met de bouw van het schaalmodel. Tijdens het bouwen zijn verschillende onderdelen gewijzigd van plaats, installatiemethode, ... Het uiteindelijke resultaat is zichtbaar op figuur 40.

### 8.2.2 Schets van het schaalmodel



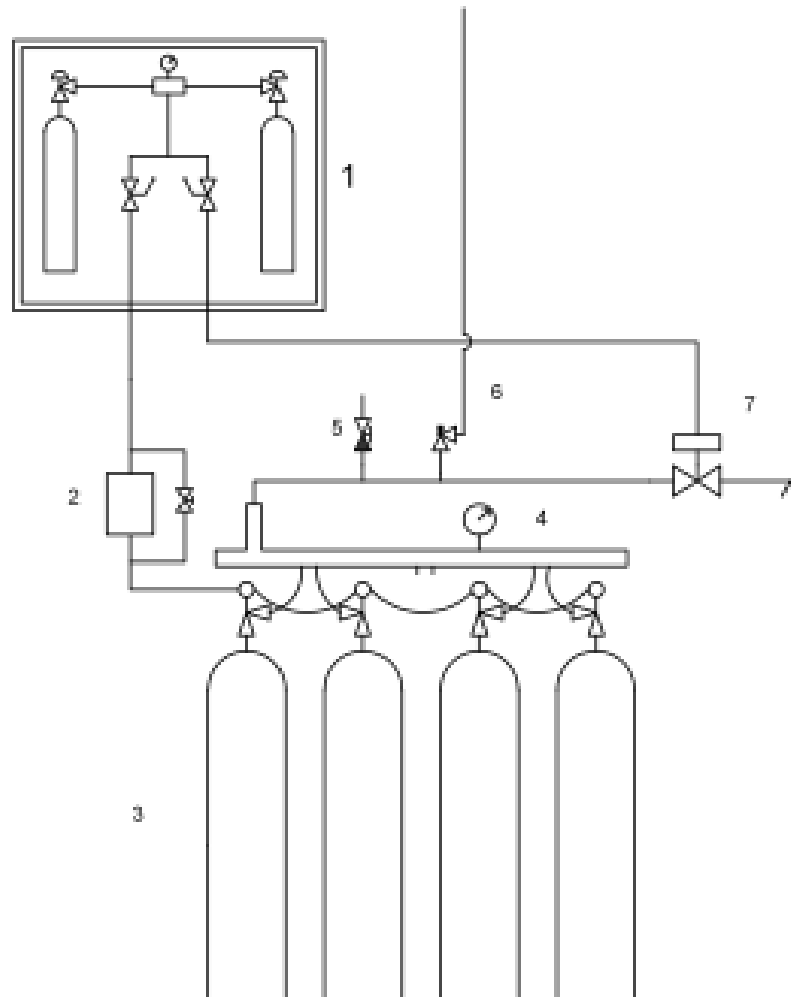
Figuur 10 Eerste schets van het schaalmodel  
Bron: eigen werk

Tabel 6 Onderdelenlijst van de eerste, bovenstaande schets.  
Bron: eigen werk

1. CO <sub>2</sub> -bedieningspaneel	13. Manometer	25. Spuitstuk
2. Stuurcilinders	14. Terugslagkleppen	26. Ventilator
3. T-stuk met manometer	15. Pneumatische druschakelaar	27. Houten panelen
4. Druischakelaar	16. T-stuk	28. Stalen hoekprofielen
5. Sleutelkast met sleutel	17. Luchtconnectie	29. Houten rek
6. T-stuk	18. Overdrukventiel	30. Wielen
7. Bypass klep	19. elektriciteitskast	31. Overdrukventiel met pijp naar buiten
8. CO <sub>2</sub> -cilinders	20. Hoofdklep + actuator	32. Branddemper
9. Verbindingslang	21. Batterij	33. Flexibele connectieslang
10. Cilinderklep	22. Vertragingsmechanisme	34. Rookdetector
11. Afsluitschroef	23. Visueel alarm	
12. Verdeelstuk	24. Auditief alarm	

### 8.2.3 P&ID van het schaalmodel

Onderstaande P&ID geeft een schematisch overzicht van het schaalmodel dat zal worden gebouwd. Ook hier zal de P&ID later wijzigen, het uiteindelijke resultaat is zichtbaar in figuur 38.



Figuur 11 P&ID van het schaalmodel

Bron: eigen werk

Tabel 7 Onderdelen in de P&ID van het schaalmodel

Bron: eigen werk

1. CO <sub>2</sub> -bedieningspaneel met stuurcilinders	5. Luchtconnectie
2. Vertragsmechanisme	6. Overdrukventiel met pijp naar buiten
3. CO <sub>2</sub> -cilinders	7. Hoofdklep + actuator
4. Verdeelstuk met manometer	

#### **8.2.4 Lijst van onderdelen**

In deze lijst wordt bij elk onderdeel de functie ervan uitgelegd en wordt er steeds verwezen naar de bijhorende foto's in bijlage 1. De onderdelen die in het schaalmodel werden geïnstalleerd zijn terug te vinden in hoofdstuk 10.5. Onderstaande nummering, bij elke titeltje, verwijst naar de onderdelen op de initiële schets in hoofdstuk 8.2.2.

##### **CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel (nr. 1)**

Aan boord van een schip zijn minstens twee CO<sub>2</sub>-bedieningspanelen te vinden. Eén in de CO<sub>2</sub>-opslagruimte en één in het brandbeveiligingsstation om zo het activeren van het systeem vanop afstand mogelijk te maken. Omdat het schaalmodel zo compact mogelijk en eenvoudig moet blijven, zal slechts één CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel geïnstalleerd worden (bijlage 1, figuur B1).

##### **Twee stuurcilinders (nr. 2)**

Dit zijn kleinere cilinders die CO<sub>2</sub> bevatten en worden geïnstalleerd in het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel. De druk in deze cilinders is even groot als in de grote CO<sub>2</sub>-cilinders, namelijk 56 bar. Het volume en de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in deze stuurcilinder is kleiner ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015, p. 2). Ze zorgen voor het activeren van het vertragingsmechanisme en voor het openen van de pneumatisch aangestuurde hoofdklep en actuator (Biesot Joop, 2016) (bijlage 1, figuur B11).

##### **T-stuk met manometer (nr. 3)**

Dit onderdeel zorgt voor de verbinding tussen de twee stuurcilinders en de leidingen. Op dit stuk staat een manometer om te kunnen nagaan of er druk op de leidingen aanwezig is (Biesot Joop, 2016) (bijlage 1, figuur B12).

##### **Drukschakelaar (nr. 4)**

Deze wordt geïnstalleerd aan de binnenkant van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel. Wanneer de deur van het bedieningspaneel geopend wordt, zal het vooralarm geactiveerd worden (Biesot Joop, 2016) (bijlage 1, figuur B2).

### **Sleutelkast met sleutel (nr. 5)**

Bij de constructie van het schaalmodel zal het glazen plaatje, dat telkens gebroken zou moeten worden, vervangen worden door een plexiglazen paneeltje. Het breekbaar glaasje zal echter wel een vermelding krijgen tijdens het gebruik ervan om aan te tonen hoe het er in realiteit aan boord van een schip uitziet (Tyco Seaplug, 2014) (bijlage 1, figuur B9).

### **T-stuk (nr. 6 en nr. 16)**

Koperen leidingen mogen door middel van draad aan elkaar bevestigd worden. Wanneer deze pijpleidingen door de accommodatie lopen dienen ze aan elkaar te worden gelast (IMO, 2016) (bijlage 1, figuur B13).

### **Bypass valve (nr. 7)**

Klep die op de koperen pijpleiding staat rondom het vertragingsmechanisme om, in geval van defect van de vertraging, de werking van het blussysteem te waarborgen ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015) (bijlage 1, figuur B15).

### **Vier CO<sub>2</sub>-cilinders met bijhorende cilinderkleppen (nr.8, nr. 10)**

In het algemeen mogen deze cilinders niet meer dan 45 kg CO<sub>2</sub> bevatten en mag de verhouding tussen gewicht en volume niet meer zijn dan 0,67 kg/liter (Det Norske Veritas, 2001). Ze moeten tevens ook uitgerust zijn met een breeschijf die in werking treedt bij 63°C en een druk die varieert tussen 177 bar en 193 bar ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015) (bijlage 1, figuren B3 en B4).

### **Verbindingslang**

Deze flexibele slangen verbinden de vier CO<sub>2</sub>-cilinders met elkaar. Door deze slangen wordt de CO<sub>2</sub> vanuit de stuurcilinders langs elke CO<sub>2</sub>-cilinder gebracht om door middel van de druk in de slangen de cilinderkleppen pneumatisch te openen (Biesot Joop, 2016) (bijlage 1, figuur B5).

### **Afsluitschroef (nr. 11)**

Deze schroef dient op de cilinderklep van de laatste CO<sub>2</sub>-cilinder gedraaid te worden om de klep af te sluiten.

### **Verdeelstuk (nr. 12) met terugslagkleppen (nr. 14), manometer (nr. 13)**

Op de manometer kan de druk in het verdeelstuk afgelezen worden wanneer het systeem geactiveerd is. Ook wanneer het systeem niet operationeel is kan het een goede indicator zijn voor lekken (Tyco Seaplus, 2014) (bijlage 1, figuur B6).

### **Pneumatische drukschakelaar (nr. 15)**

Deze drukschakelaar zorgt ervoor dat het CO<sub>2</sub>-alarm afgaat wanneer er druk in het verdeelstuk komt. Dit kan ook gebeuren wanneer het blussysteem niet operationeel is, bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van een lek ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015) (bijlage 1, figuur B7)

### **Lucht aansluitingsklep (nr. 17)**

Door de aanwezigheid van deze klep kan het systeem getest worden op obstructies door middel van het doorblazen van lucht door de leidingen (FSS Code H5/2.2.4) (IMO, 2016) (bijlage 1, figuur B17)

### **Overdrukventiel (nr. 18)**

Deze klep heeft als functie de druk, die door CO<sub>2</sub> wordt veroorzaakt, in het verdeelstuk te laten dalen door CO<sub>2</sub> naar buiten te sturen. Deze situatie kan zich voordoen wanneer de CO<sub>2</sub>-cilinders geopend zijn en de pneumatische hoofdklep nog gesloten is. Wanneer CO<sub>2</sub> uit de cilinders vrijkomt onder een druk van 56 bar onttrekt de CO<sub>2</sub> warmte van de omgeving. Hierdoor zal er al een deel van de CO<sub>2</sub> al overgaan naar de gasvormige fase met een drukstijging tot gevolg. De werkdruk van de koperen pijpleidingen bedraagt 190 bar. Om deze werkdruk in geen geval te laten overschrijden wordt de grens van het overdrukventiel ingesteld op 180 bar. ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015) (bijlage 1, figuur B18).

### **Hoofdklep + actuator(nr. 20)**

Dit is de laatste klep die CO<sub>2</sub> kan tegenhouden. Wanneer het systeem in werking wordt gebracht, zal het openen van de tweede stuercilinders ervoor zorgen dat deze klep geopend wordt (Biesot Joop, 2016) (bijlage 1, figuur B8).

### **Vertragingsmechanisme (nr. 22)**

Dit onderdeel zorgt voor de vrijlating van CO<sub>2</sub> uit de cilinders met een vertraging van minimaal 20 seconden zoals voorgeschreven in hoofdstuk II-2 van de SOLAS (IMO, 2017). In praktijk wordt deze vertraging eerder ingesteld tussen 60 en 90 seconden. Op deze manier wordt meer tijd gegeven aan het personeel voor evacuatie uit de beschermde ruimte ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015). In het schaalmodel wordt gekozen om het vertragingsmechanisme in te stellen op 30 seconden (bijlage 1, figuur B14)

**Auditief + visueel alarm (nr. 23, nr. 24).** Het alarm moet zowel hoorbaar als zichtbaar zijn in de beveiligde ruimte terwijl alle machines aanstaan. De geluidsalarmen van het voor- en CO<sub>2</sub>-alarm moeten elk één specifiek geluidssignaal hebben. Ook de visuele alarmen van het voor- en CO<sub>2</sub>-alarm moeten elk één specifiek, lichtsignaal hebben. (ISO, 1982),(IMO, 2010) (bijlage 1, figuur B10).

### **CO<sub>2</sub>-spuitstuk (nr. 25).**

Dit wordt bevestigd aan het uiteinde van de koperen pijpleidingen. Deze spuitstukken moeten, qua aantal, samen met de koperen leidingen zorgen voor een uniforme distributie van CO<sub>2</sub> in de te beschermen ruimte (FSS Code H5/2.1.2.1) (IMO, 2016). Aangezien het schaalmodel relatief klein is, volstaat het installeren van één CO<sub>2</sub> spuitstuk (bijlage 1, figuur B20)

### **Ventilator (nr. 26)**

Alle ventilatie die aanwezig is in de te blussen ruimte moet afgezet worden zodra het vooralarm afgaat.

### **Houten multiplex panelen (nr. 27).**

Met een dikte van 18 – 24 mm

### **Stalen hoekprofielen (nr. 28).**

Deze dienen om een constructiekader te maken.

### **Houten balkjes om het rooster (nr. 29)**

Waar de CO<sub>2</sub>-cilinders in worden bevestigd. In het schaalmodel zijn hiervoor beugels gebruikt.

### **Wielen (nr. 30)**

Deze worden onder de constructie geplaatst om het schaalmodel mobiel te maken.

### **Overdrukventiel met pijp naar buiten (nr. 31)**

In geval van een ongewenste hoge drukstijging zal het overdrukventiel openen en CO<sub>2</sub> naar buiten leiden via deze leiding.

### **Branddemper (nr. 32)**

Bij de kanalen van airconditioning en ventilatie worden branddempers geïnstalleerd. Wanneer bij brand de temperatuur stijgt, zal de branddemper voorkomen dat rook en hitte worden verspreid via deze kanalen ("Fire Dampers and Smoke Dampers", z.d.). In de SOLAS hoofdstuk II-2 voorschrift 10 staat beschreven dat elke opening in de beschermde ruimte afgesloten moet kunnen worden via de buitenzijde (IMO, 2017). Een branddemper die manueel gesloten kan worden zal geïnstalleerd worden in het schaalmodel (zie bijlage 1, figuur B21).

### **Flexibele connectieslangen (nr. 33)**

Deze slangen verbinden de CO<sub>2</sub>-cilinders met het verdeelstuk en moeten een minimale druk van 1,25 keer de druk die ingesteld is op het overdrukventiel kunnen weerstaan, zijnde minimaal 225 bar. (Det Norske Veritas, 2001) (bijlage 1, figuur B5).

### **Rookdetector (nr. 34).**

Deze zal zowel een auditief als visueel alarm geven zoals beschreven in hoofdstuk 9 van de FSS Code (IMO, 2016).

### **Koperen pijpleidingen.**

Deze worden gebruikt om CO<sub>2</sub> in vloeibare vorm van verdeelstuk tot spuitstuk te brengen. De pijpleidingen worden getest op een werkdruk van 190 bar en de diameter ervan mag niet kleiner zijn dan 20 mm ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015). De pijpleidingen zullen zo geplaatst worden zodat 85% van de CO<sub>2</sub> binnen de 2 minuten zich in de ruimte bevindt zoals bepaald in hoofdstuk 5 van de FSS Code (IMO, 2016) (bijlage 1, figuur B19)

## **8.2.5 Voorbereiding op het bouwen**

Om een goed beeld te krijgen van de werkelijke grootte en de uiteindelijke lay-out, werden de verschillende onderdelen op de grond gerangschikt (figuur 12). Tijdens het rangschikken verwisselden de verschillende onderdelen van plaats om zo de uiteindelijk lay-out van het schaalmodel te bekomen.



Verder moest het schaalmodel ook praktisch blijven in gebruik en verplaatsbaarheid. Daarom is het ontwerp aangepast zodat het model door elke deur kan, zowel in breedte als in hoogte.



Figuur 12 Rangschikken van de onderdelen om een uiteindelijk beeld te krijgen van de lay-out.  
Bron: eigen werk

## 8.3 Het bouwproces

### 8.3.1 Het kader

Het schaalmodel moest enerzijds zo praktisch mogelijk gebouwd worden, alsook stevig en duurzaam zijn. Daarom werd gekozen voor een stevig stalen kader. Tijdens het ontwerp werd overwogen om vierkante buizen te gebruiken ten opzichte van L-profielen, dit voor extra stevigheid. Aangezien de houten bevestigingspanelen hierin moeilijker konden worden gemonteerd en L-profielen voldoende sterkte geven, is uiteindelijk beslist om L-profielen te gebruiken. Deze profielen hebben een afmeting van 50x50x5 mm en werden gesponsord door het Antwerpse bedrijf Navitec. De stalen lengten werden aan elkaar gelast om een stevig onder en boven kader te creëren. Het onderste kader is voorzien van extra verstevigingen, dit om stijfheid van het kader te kunnen garanderen. Verder zijn de opstaande delen van het kader door middel van bouten en moeren bevestigd. Hiervoor werd gekozen om het systeem makkelijker te kunnen transporteren (figuur 13). Om het systeem vlot te hanteren tijdens de lessen zijn er zes wielen gemonteerd, elk met een draagcapaciteit van 300 kg.



Figuur 13 Stalen frame van het schaalmodel  
Bron: eigen werk



Figuur 14 Stalen frame met geplaatste houten wanden  
Bron: eigen werk

Nadat het frame werd afgewerkt en geschilderd werden houten panelen geplaatst om de verschillende ruimten van CO<sub>2</sub>-kamer en machinekamer beter te simuleren en een volledig geheel te vormen (figuur 14).

### 8.3.2 Installatie van de onderdelen

De onderdelen waarmee de initiële lay-out werd ontworpen konden als eerste in het frame worden geplaatst. Aangezien het merendeel van deze onderdelen afkomstig zijn van gebruikte CO<sub>2</sub>-systemen, zijn deze logischerwijs voorzien op de drukken waarmee CO<sub>2</sub> gepaard gaat. Om ons systeem veilig te maken tijdens de lessen werd beslist om de druk te verlagen naar maximaal 10 bar. Tijdens het bouwproces werden tal van testen gedaan om ons ervan te verzekeren dat de voorgeschreven onderdelen, zoals bijvoorbeeld de kleppen bovenop de CO<sub>2</sub>-cilinders, dezelfde werking hebben bij een lagere druk.



Figuur 15 Installatie van de eerste onderdelen  
Bron: eigen werk

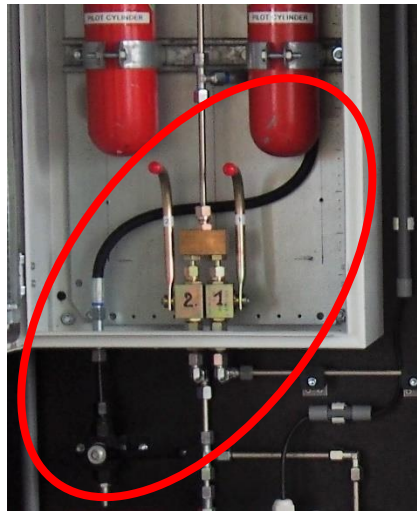
Aangezien de werkdruk verlaagd werd tot 10 bar, kon voor de montage van het verdeelstuk naar het overdrukventiel, de luchtaansluitingsklep, de pneumatische hoofdklep en het CO<sub>2</sub> spuitstuk gebruik worden gemaakt van normale stalen waterleidingen. Deze leidingen, onderdelen, kraantjes worden normaal gebruikt voor sanitaire toepassingen of als waterleiding en zijn bestand tegen deze drukken. Door een incompatibiliteit van verschillende onderdelen liep de montage wat vertraging op.

Onderstaande onderdelen worden kort beschreven aangezien deze speciale aandacht nodig hadden tijdens het bouwproces.

### **8.3.2.1 CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel**

Hierbij moest het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel waarin de stuurcilinders zitten worden omgebouwd. Het ombouwen was noodzakelijk om een extra vulkraan te kunnen installeren en de kast functioneel te maken voor ons systeem. De vulkraan vereenvoudigt het hervullen van de stuurcilinders tijdens de lessen, en vermijdt het eindeloos losschroeven van verschillende koppelingen. Verder is gebleken dat het monteren van de verschillende onderdelen die werkzaam zijn op perslucht een specifieke kennis vereist.

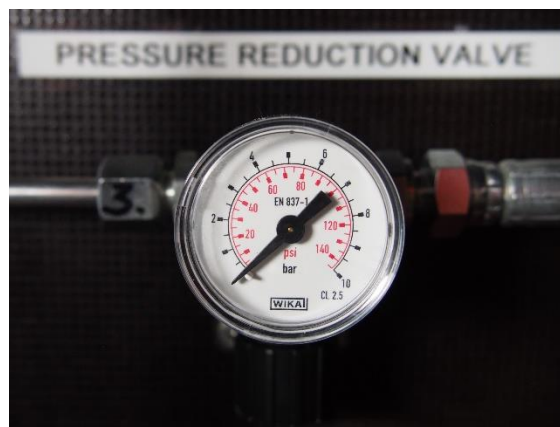




Figuur 16 Extra vulonderdeel bij de stuurcilinders  
Bron: eigen werk

### 8.3.2.2 Pneumatische actuator

De pneumatische actuator die bevestigd is bovenop de hoofdklep heeft een maximale werkdruk van 7,5 bar. Zoals hiervoor beschreven bedraagt de druk van het schaalmodel 9 à 10 bar, en is deze druk noodzakelijk om een correcte activatie van het systeem te garanderen. Aangezien deze druk de maximale werkdruk van de actuator overschrijdt is een drukverminderventiel geïnstalleerd. Dit ventiel kan door middel van een stelschroef, onderaan de manometer, worden aangepast. Tijdens verschillende tests is gebleken dat de hoofdklep met actuator vlot opent bij een druk van 3 bar, hierop is het drukverminderventiel dan ook ingesteld.



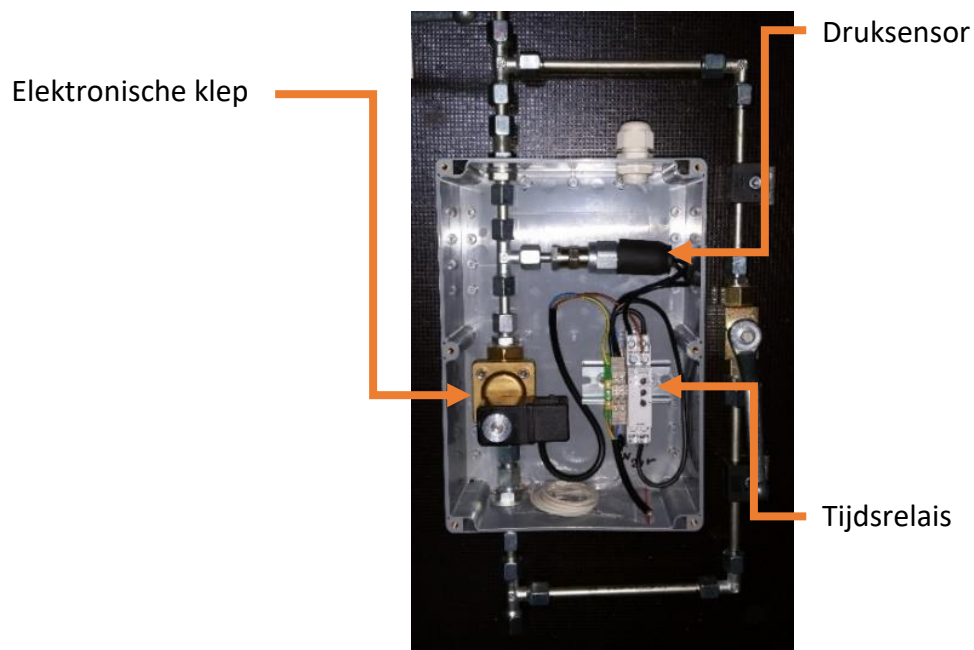
Figuur 17 Drukverminderventiel  
Bron: eigen werk

### 8.3.2.3 Tijdsvertragsmechanisme

De time delay of het vertragsmechanisme in het schaalmodel zorgde voor de grootste uitdaging. Bij de gesponsorde onderdelen van UNIsafe was er een mechanisch vertragsmechanisme aanwezig. Dit kon echter niet werken bij een druk lager dan 22 bar.

Aangezien deze drukken in ons systeem niet werkzaam zijn moest hiervoor een oplossing worden gezocht.

Een zelf ontworpen, elektronisch gestuurd, vertragsmechanisme was de oplossing voor ons probleem. Een dergelijk vertragsmechanisme wordt ook gebruikt aan boord en komt vandaag de dag steeds meer voor.



Figuur 18 Tijdsvertragsmechanisme  
Bron: eigen werk

Bovenstaande figuur 18 toont hoe het vertragsmechanisme uiteindelijk gebouwd is. Het principe om het CO<sub>2</sub>- gas 30 seconden te vertragen alvorens het naar de machinekamer te sturen, wordt hierbij gesimuleerd. Het vertragsmechanisme werkt door middel van een tijdsrelais dat zelf kan worden ingesteld, een druksensor en een elektronische klep. Wanneer de sensor een bepaalde druk detecteert zal deze een elektrisch signaal sturen naar het tijdsrelais. Hierna begint het tijdsrelais af te tellen. Na 30 seconden wordt het signaal doorgestuurd en de elektronische klep geopend.

### 8.3.3 Bouw elektrische schakeling

De elektrische schakeling in het systeem wordt verder besproken in hoofdstuk 9. Dit onderdeel bleek tijdens het bouwproces ook een groot struikelblok. Met de hulp van een vriend met een bachelor in elektronica werd de elektrische kast en bedrading voor het schaalmodel geïnstalleerd.

### 8.3.4 Afwerking van het systeem

Bij de afwerking van het schaalmodel werden alle punten overlopen, samen met de promotoren. Dit was noodzakelijk om alle details op punt te stellen en ervoor te zorgen dat het schaalmodel nog educatiever werd. Enkele voorbeelden van deze aanpassingen waren:

- Het plaatsen van een extra deurtje aan de buitenzijde van de ventilator.
- Het overdrukventiel naar buiten toe werd duidelijker gemaakt.
- Labeltjes aangebracht op de verschillende onderdelen.
- ...

Ook werden testlessen (hoofdstuk 10.1) voorzien in het 2<sup>de</sup> jaar; deze bleken uiteindelijk heel nuttig en hebben tot enkele aanpassingen van het schaalmodel geleid.

Als laatste is het belangrijk om te vermelden dat het hele systeem als een soort “meccano” uit elkaar kan worden gehaald. Dit vergemakkelijkt het transport alsook een eventuele verhuis van lokaal in de toekomst.

### 8.4 Verschillen tussen schaalmodel en realiteit

Onderstaande tabel geeft alle onderdelen van het schaalmodel weer die verschillen met de systemen aan boord. Bij elk van deze onderdelen wordt steeds een beschrijving van de verschillen gegeven.

Onderdeel	Vergelijking schaalmodel – aan boord
 <p>Figuur 19 Sleutelkast Bron: eigen werk</p>	<p><b>Sleutelkast</b></p> <p><u>Aan boord:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Glazen sleutelkast zonder stalen pin</li></ul> <p><u>Schaalmodel:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Stalen pin om de kast te kunnen openen</li><li>- Glas hoeft niet gebroken en vervangen te worden</li></ul>



Figuur 20 CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel  
Bron: eigen werk

## CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel

### Aan boord:

- Twee of meer CO<sub>2</sub>-bedieningspanelen
- Verschillende locaties

### Schaalmodel:

- Eén CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel
- In CO<sub>2</sub>-ruimte



Figuur 21 Vulkraan voor stuurcilinders  
Bron: eigen werk

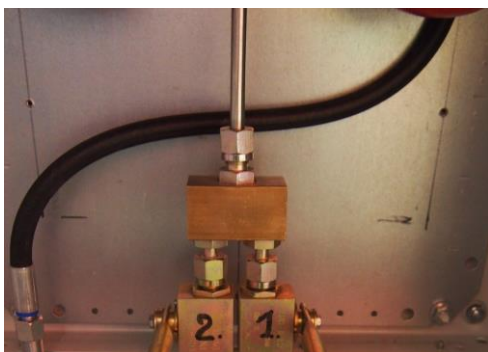
## Vulkraan voor de stuurcilinders

### Aan boord:

- Niet aanwezig

### Schaalmodel:

- Vulkraan geïmplementeerd om stuurcilinders op eenvoudige wijze te kunnen vullen.



Figuur 22 Slang van de vulkraan naar de stuurcilinders  
Bron: eigen werk

## Slang van de vulkraan

### Aan boord:

- Niet aanwezig

### Schaalmodel:

- Slang afkomstig van de vulkraan om stuurcilinders tegelijk te kunnen vullen.



Figuur 23 Mechanisch tijdsvertragsmechanisme  
Bron: eigen werk

### Mechanisch vertragsmechanisme

#### Aan boord:

- Mechanisch vertragsmechanisme kan ook gebruikt worden
- Minimaal 20 seconden

#### Schaalmodel:

- Elektronisch vertragsmechanisme is gebruikt
- 30 seconden



Figuur 24 Vulkraan op CO2 cilinders  
Bron: eigen werk

### Vulkraan op CO<sub>2</sub>-cilinder

#### Aan boord:

- Niet aanwezig

#### Schaalmodel:

- Vulkraan geïmplementeerd om de eerste CO<sub>2</sub>-cilinder te vullen.



Figuur 25 CO<sub>2</sub>-cilinders  
Bron: eigen werk

### CO<sub>2</sub>-cilinders

#### Aan boord:

- Meerdere CO<sub>2</sub>-cilinders
- Capaciteit: 45 kg
- Druk: 56 bar

#### Schaalmodel:

- Vier CO<sub>2</sub>-cilinders
- Capaciteit: 5 kg
- Druk 9 bar



Figuur 26 Manometer van de stuurcilinders  
Bron: eigen werk

### Manometer van de stuurcilinders

#### Aan boord:

- Manometer voor drukken tot 400 bar

#### Schaalmodel:

- Manometer voor drukken tot 16 bar





Figuur 27 Manometer op het verdeelstuk Bron: eigen werk

### Manometer op verdeelstuk

#### Aan boord:

- Manometer voor drukken tot 400 bar

#### Schaalmodel:

- Manometer voor drukken tot 16 bar



Figuur 28 Verdeelstuk Bron: eigen werk

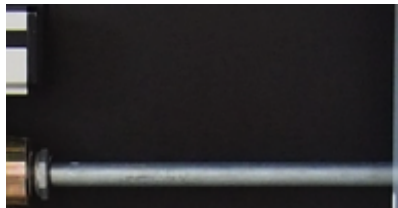
### Verdeelstuk

#### Aan boord:

- Groter verdeelstuk
- Meer CO<sub>2</sub>-cilinders op aangesloten

#### Schaalmodel:

- Klein verdeelstuk
- Vier CO<sub>2</sub>-cilinders op aangesloten



Figuur 29 Leiding Bron: eigen werk

### Leidingen

#### Aan boord:

- Koperen pijpleiding
- Werkdruk 190 bar
- Minimale diameter 20 mm

#### Schaalmodel:

- Standaard stalen leidingen
- Kleinste diameter in het schaalmodel is 8 mm



Figuur 30 Overdrukventiel met leiding naar buiten Bron: eigen werk

### Overdrukventiel met leiding naar buiten

#### Aan boord:

- Ingesteld op 180 bar
- Overdrukventiel met koperen leiding naar buiten.

#### Schaalmodel:

- Ingesteld op 10 bar
- Doorschijnend gedeelte om overdrukventiel te kunnen zien
- Pijp in PVC



Figuur 31 Spuitstuk  
Bron: eigen werk

## **Spuitstuk**

### Aan boord:

- Spuitstuk voor machinekamer
- Bevestigd aan plafond

### Schaalmodel:

- Spuitstuk voor lokale brandbestrijding (zwart kapje)
- Bevestigd aan wand

# Hoofdstuk 9 Elektrische schakeling van het schaalmodel

## 9.1 Theoretisch toe te passen elektrische schakeling in het schaalmodel

Om een goed overzicht te krijgen van de verschillende elektrische functies in het schaalmodel is hieronder een opsomming gemaakt van de verschillende elektrische onderdelen. Deze opsomming vat samen in welke toestand een bepaalde elektrische component zich moet bevinden bij de opstart, activatie en reset van het systeem. Aan de hand van deze lijst is duidelijk geworden met welke soort schakeling er moet worden gewerkt en welke eigenschappen deze schakeling moet hebben.

### 9.1.1 Ventilatie door middel van de ventilator

- Beginsituatie: voor de activatie van het systeem moet deze aanstaan, draaien.
- Na activatie: door het openen van de deur van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel moet de ventilator worden uitgeschakeld.
- Bij reset van het systeem: de ventilator begint terug te draaien.

### 9.1.2 Vooralarm

#### 9.1.2.1 Eerste visueel alarm

- Beginsituatie: alarm staat af.
- Na activatie: door het openen van het deur van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel moet het eerste visueel alarm geactiveerd worden, onderdeel van het vooralarm (IMO, 2010).
- Bij reset van het systeem: het visueel alarm staat af.

#### 9.1.2.2 Eerste auditief alarm

- Beginsituatie: alarm staat af.
- Na activatie: door het openen van de deur van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel wordt het alarm geactiveerd, door middel van een geluidssignaal (IMO, 2010).
- Bij reset van het systeem: het vooralarm staat af.

### **9.1.3 CO<sub>2</sub>-alarm**

#### **9.1.3.1 Tweede visueel alarm**

- Beginsituatie: het vooralarm staat nog aan.
- Na activatie: wanneer het vertragingsmechanisme CO<sub>2</sub> doorlaat, activeert dit de CO<sub>2</sub>-cilinders. Hierdoor komt CO<sub>2</sub> vrij en komt het verdeelstuk onder druk te staan. Een pneumatische drukschakelaar op het verdeelstuk wordt geactiveerd zodat het CO<sub>2</sub>-alarm afgaat. Dit is zichtbaar doordat de gekleurde lamp, geactiveerd in het vooralarm, vervangen wordt door een lamp met andere kleur (hoofdstuk 7.2).
- Bij reset van het systeem: het CO<sub>2</sub>-alarm staat af.

#### **9.1.3.2 Tweede auditief alarm**

- Beginsituatie: het vooralarm staat nog aan.
- Na activatie: wanneer het vertragingsmechanisme CO<sub>2</sub> doorlaat, activeert dit de CO<sub>2</sub>-cilinders. Hierdoor komt CO<sub>2</sub> vrij en komt het verdeelstuk onder druk te staan. Een pneumatische drukschakelaar op het verdeelstuk wordt geactiveerd zodat het CO<sub>2</sub>-alarm afgaat. Dit is zichtbaar doordat het eerste auditief alarm, geactiveerd in het vooralarm, vervangen wordt door een ander auditief alarm (hoofdstuk 7.2).
- Bij reset van het systeem: het CO<sub>2</sub>-alarm staat af.

### **9.1.4 Verdragingsmechanisme**

- Beginsituatie: de vertrager bevindt zich in gesloten positie.
- Na activatie: door het openen van de stuurcilinders wordt d.m.v. een pneumatische drukschakelaar het vertragingsmechanisme geactiveerd, de teller begint te tellen tot 60 à 90 seconden. Wanneer deze tijdsspanne voorbij is, laat het vertragingsmechanisme stroom door naar de magnetische klep zodat de CO<sub>2</sub>-cilinders worden geactiveerd. ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015). Zoals reeds vermeld, is het vertragingsmechanisme in het schaalmodel ingesteld op 30 seconden.
- Bij reset van het systeem: de vertrager bevindt zich in gesloten positie.

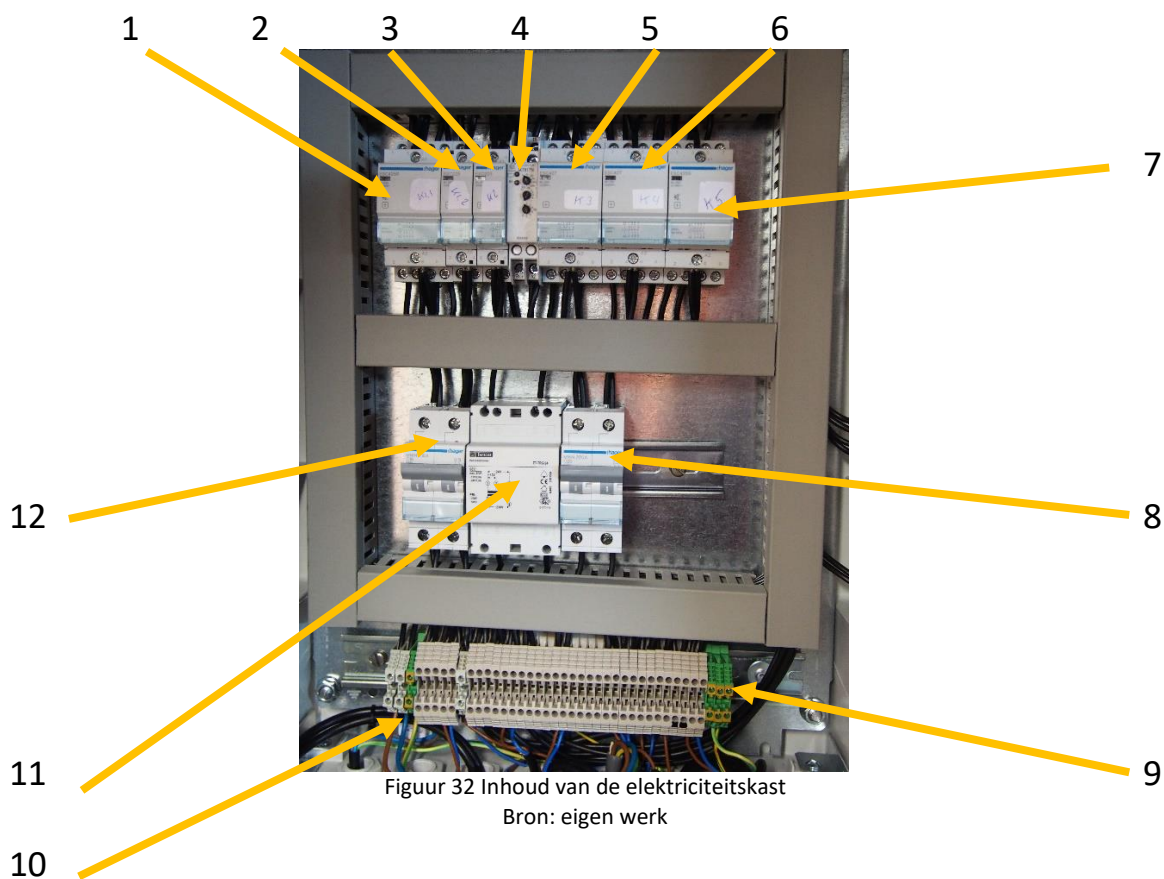
## 9.2 Effectief ontwerp van de elektrische schakeling in het schaalmodel

De verschillende stappen, beschreven in hoofdstuk 9.1, die volgens de theorie aanwezig moeten zijn en die het elektrisch systeem moet doorlopen tijdens de activatie zijn:

1. Openen van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel activeert de eerste drukschakelaar, deze zal het CO<sub>2</sub>-vooralarm activeren. Dit zal zichtbaar zijn door een oranje licht en een zoemer alarm. Op hetzelfde moment schakelt de ventilator uit.
2. Het openen van de CO<sub>2</sub>-stuurcilinders activeert het vertragingsmechanisme. Deze zal het signaal 30 seconden tegenhouden. Na 30 seconden wordt de solenoïde klep geopend. Deze opening zorgt ervoor dat de CO<sub>2</sub>-cilinders, door middel van druk uit de stuurcilinders, worden geopend.
3. Het openen van de CO<sub>2</sub>-cilinders activeert de pneumatische drukschakelaar, deze zal het CO<sub>2</sub>-alarm activeren. Deze activatie zorgt ervoor dat het oranje licht rood wordt, het zoemend alarm gaat over in een bellend alarm (IMO, 2016).

Zoals hierboven beschreven gebeuren deze wijzigingen omdat verschillende drukschakelaars in het schaalmodel worden geactiveerd. Aangezien deze processen automatisch moeten verlopen werd er gebruikt gemaakt van een schakeling met contactoren. De keuze om contactoren te gebruiken in plaats van bijvoorbeeld een PLC is gebeurd op basis van gebruiksvriendelijkheid, kennis, vervangbaarheid, prijs.

## 9.2.1 Inhoud van de elektriciteitskast



Figuur 32 Inhoud van de elektriciteitskast  
Bron: eigen werk

Tabel 8 Verklaring van de inhoud van de elektriciteitskast  
Bron: eigen werk

1	Contactoor K1.1: vier maakcontacten
2	Contactoor K1.2: twee maakcontacten
3	Contactoor K2: twee maakcontacten
4	Tijdsrelais
5	Contactoor K3: twee maak + twee verbreekcontacten
6	Contactoor K4: twee maak + twee verbreekcontacten
7	Contactoor K5: vier maakcontacten
8	Automaat 20A
9	Aansluitklemmen
10	Aansluitklemmen met de stroomtoevoer
11	Transformator 220-230 V naar 24 V
12	Automaat 16 A

## **Contactoren**

Contactoren zijn vergelijkbaar met relais, alleen kunnen contactoren een grotere belasting aan. Het zijn elektromagnetische schakelaars die worden gebruikt wanneer hoge spanningen (230V/400V) worden geschakeld. Bij een contactor wordt het onderscheid gemaakt tussen de hoofdcontacten en de hulpcontacten. De hoofdcontacten zijn robuuster uitgevoerd en zullen de grote verbruikers in het systeem aandrijven; denk hierbij aan de ventilator, alarmen, ... in het schaalmodel. De hulpcontacten hebben een functie in het stuurcircuit. Bij de hulpcontacten kan men twee verschillende soorten onderscheiden: de maak- en verbreekcontacten. Afhankelijk van deze contacten zullen verschillende opties mogelijk zijn (Schrack Technik, z.d.).

Het stuurcircuit zal bepalen welke contacten worden geopend of gesloten. Dit gebeurt als gevolg van stroompulsen die de hulpcontacten krijgen. Deze zijn afkomstig van verschillende schakelaars in het systeem (Schrack Technik, z.d.). In het schaalmodel sturen de drukknoppen en drukschakelaars de verschillende contactoren aan. Alle contactoren in onze opstelling zijn gemaakt om te werken op een spanning van 220-230V, aan een maximale stroom van 25A.

## **Tijdrelais**

Een tijdrelais is een variant op een normaal relais/contactor. Een tijdsrelais heeft als functie, het aanpassen en vertragen van bepaalde impulsen. Zo kan een signaal enkele seconden worden vertraagd, af/aan geschakeld worden volgens een vooringesteld schema. Ze zetten met andere woorden een impuls om in een bepaalde instructie waar zowel de duur als de vertraging, op elke mogelijke manier kan worden ingesteld (Schneider Electric, z.d.). In ons schaalmodel worden twee tijdrelais gebruikt. Eén hiervan wordt gebruikt om de ventilator automatisch af te schakelen na één seconde, dit was nodig om de contactor schakeling correct te laten werken. Een tweede wordt gebruikt bij het tijdsvertragsmechanisme om 30 seconden af te tellen alvorens de CO<sub>2</sub>-cilinders te activeren. De handleiding van deze tijdsrelais kan teruggevonden worden in bijlage 2.

### **Automaat**

In het schaalmodel zijn twee automaten aanwezig. Eén van deze automaten bevindt zich waar de stroom toekomt in de elektriciteitskast en zal het volledige systeem beschermen in geval van defecten, kortsluiting, ... Een tweede automaat wordt gebruikt om het stopcontact te beveiligen. Deze extra veiligheid is ingebouwd indien de compressor defect zou zijn en kortsluiting zou veroorzaken. Het verschil in ampères heeft een invloed op de veiligheid van het systeem en de onderdelen die moeten beveiligd worden.

### **Aansluitklemmen**

Deze klemmen zijn de verbindingen tussen enerzijds de stuurkring die zich in de elektriciteitskast bevindt en anderzijds alle elektrische signalen die van de kast vertrekken of in de kast toekomen.

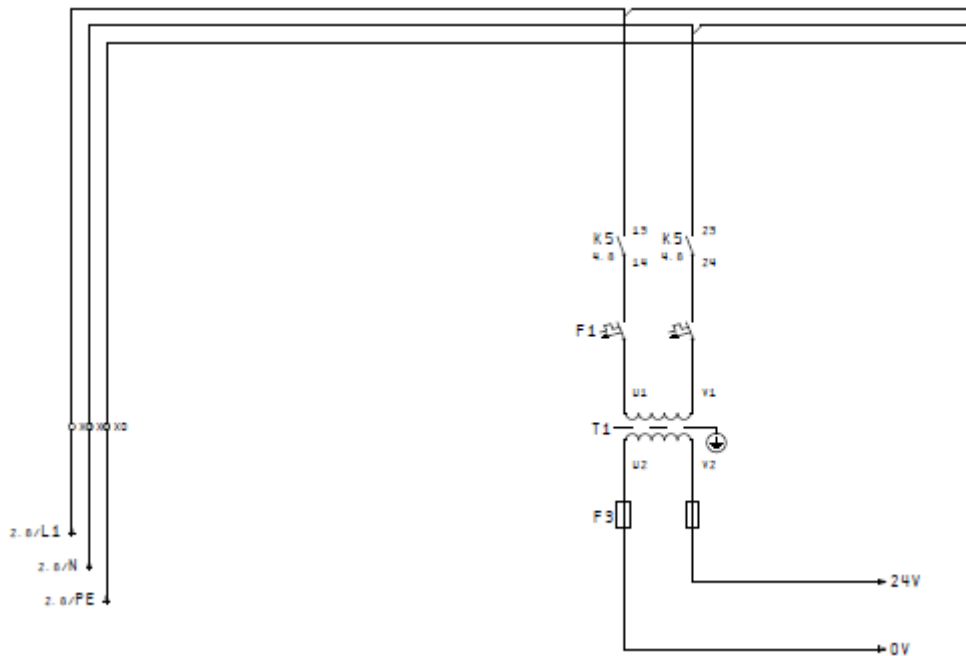
### **Transformator 24V AC**

Om het vertragingsmechanisme te laten werken werd er gebruik gemaakt van een transformator naar 24V AC. Dit is zo omdat het te gevaarlijk is om 220-230V, zoals in de stuurkring, te gebruiken op onderdelen waarmee stalen buisjes in contact komen. Deze stalen buisjes worden gebruikt in de stuurkring en lopen zichtbaar doorheen het systeem. Indien een component in het vertragingsmechanisme zou falen, wordt hiermee het risico op elektrocutie bij aanraking van deze buisjes beperkt. Verder zijn de stalen onderdelen verbonden met de aarding om het risico verder te minimaliseren.



## 9.2.2 Elektrische schema's

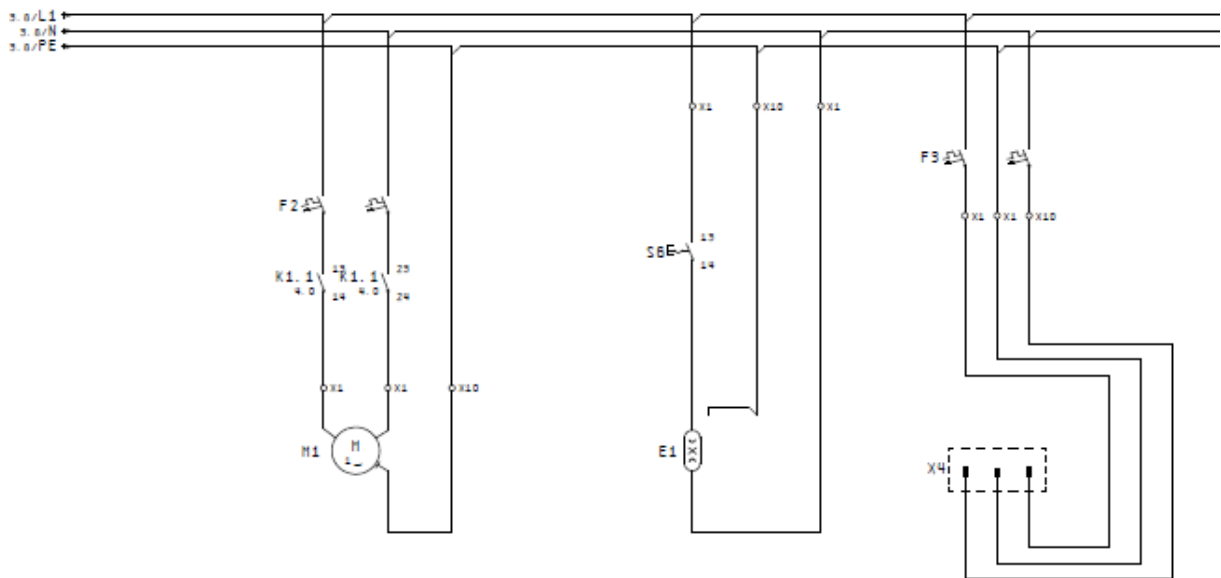
Het elektrische schema werd uitgetekend met het software programma "Eplan electric". Daarna werd het verschillende keren getest in "Fluidsim", om de goede werking na installatie te garanderen.



Figuur 33 Elektrisch schema deel één: 24V transformator en automaten  
Bron: eigen werk

Tabel 9 Beschrijving elektrisch schema, deel één  
Bron: eigen werk

L1	Fase
N	Neuter
PE	Aarding
X0	Aansluitklemmen – sectie 0
K5	Contactoor K5 – vier maakcontacten
F1	Automaat 16 A
T1	Transformator naar 24 V AC - aarding
F3	Interne automaat in de transformator



Figuur 34 Elektronisch schema deel twee: ventilator, stopcontact, verlichting  
Bron: eigen werk

Tabel 10 Beschrijving van het elektrisch schema deel twee  
Bron: eigen werk

L1	Fase
N	Neuter
PE	Aarding
X1	Aansluitklemmen – sectie 1
K1.1	Contactoor K1.1 – vier maakcontacten
M1	Motor van de ventilator
S6	Draaischakelaar van het licht
E1	Tl-verlichting in het schaalmodel
X4	Stopcontact
F2	Interne automaat in de ventilator
F3	Automaat 20 A

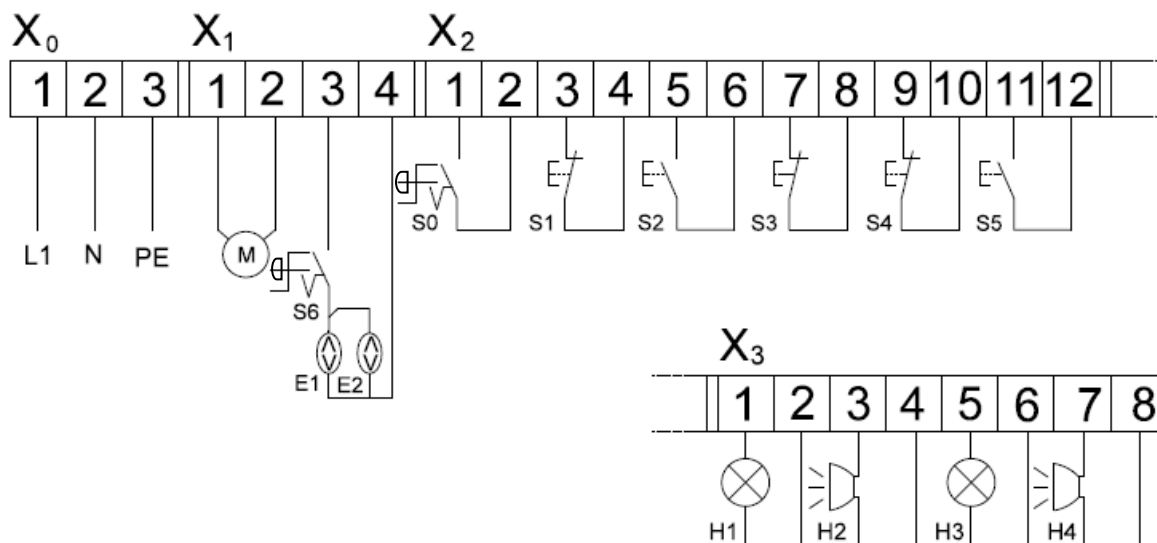


Tabel 11 Beschrijving van het elektrische systeem deel drie  
Bron: eigen werk

L1	Fase
N	Neuter
PE	Aarding
X2	Aansluitklemmen – sectie 2
X3	Aansluitklemmen – sectie 3
S0	Noodstop
S1	Stopknop
S2	Startknop
S3	Drukschakelaar in het CO <sub>2</sub> -bedieningspaneel
S4	Resetknop
S5	Pneumatische drukschakelaar aan het verdeelstuk
KT1	Tijdrelais
H1	Visueel CO <sub>2</sub> -vooralarm – oranje licht
H2	Auditief CO <sub>2</sub> -vooralarm – zoemer
H3	Visueel CO <sub>2</sub> -alarm – rood licht
H4	Auditief CO <sub>2</sub> -alarm - bel
K1.1	Contactoor K1.1: vier maakcontacten
K1.2	Contactoor K1.2: twee maakcontacten
K2	Contactoor K2: twee maakcontacten
K3	Contactoor K3: twee maak-/twee verbreekcontacten
K4	Contactoor K4: twee maak-/twee verbreekcontacten
K5	Contactoor K5: vier maakcontacten

Deze elektrische schema's kunnen ook worden teruggevonden in de elektriciteitskast van het schaalmodel.

### 9.2.3 Schema van de aansluitklemmen



Figuur 36 Aansluitklemmen van het elektrisch systeem  
Bron: eigen werk

Bovenstaand schema geeft de aansluitklemmen weer. De nummers corresponderen met de aansluitingsklemmen onderaan de kast en kunnen worden gebruikt om te achterhalen welke klem welk onderdeel in het schaalmodel van stroom voorziet. Ook de verschillende druschakelaars, alarmen en lichten zijn hierop terug te vinden.

# Hoofdstuk 10 Educatief lessenpakket

## 10.1 Verslag testlessen

Om na te gaan of het schaalmodel volledig is en dit gebruikt kan worden in de lessen veiligheid, werd de werking van het schaalmodel gedemonstreerd tijdens de praktijklessen veiligheid van het 2<sup>e</sup> jaar. De verschillen tussen het schaalmodel op school en de realiteit aan boord werden aangehaald en uitvoerig besproken om een duidelijk beeld te scheppen van een volledig CO<sub>2</sub>-blussysteem aan boord. De bijhorende P&ID (figuur 38) van het schaalmodel werd ter beschikking gesteld. Hierdoor konden de studenten de belangrijkste onderdelen identificeren en deze vergelijken met het schaalmodel. Bij elk onderdeel werd aan hen uitgelegd welke functie elk specifiek onderdeel heeft en aan welke voorwaarden dit onderdeel moet voldoen volgens SOLAS en FSS-Code. Op deze manier werd de werking van het systeem verduidelijkt. De studenten kregen nadien de kans om vragen te stellen en zelf het schaalmodel te activeren, zoals het aan boord zou moeten gebeuren.

### 10.1.1 Activeringsinstructies

Op het bedieningspaneel van het CO<sub>2</sub>-blussysteem staan de instructies om het CO<sub>2</sub>-blussysteem op een correcte manier te activeren.

Afgaande op het doel dat bereikt moet worden, namelijk het activeren van het CO<sub>2</sub>-blussysteem op een correcte manier, werd een lijst opgesteld met de nodige instructies. Deze instructies (tabel 12) zijn weergegeven op de deur van het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel zodat de studenten de juiste stappen kunnen volgen om te komen tot een succesvolle activatie van het blussysteem.

Tabel 12 Activeringsinstructies op het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel  
Bron: eigen werk

1.	CLOSE ALL VENTS, DOORS AND HATCHES
2.	BREAK GLASS FOR KEY
3.	OPEN CABINET DOOR (PRE-ALARM WILL BE ACTIVATED)
4.	ENSURE ALL PERSONNEL HAVE VACATED THE PROTECTED SPACE
5.	OPEN BOTH PILOT CYLINDERS, TURN ANTI-CLOCKWISE TO OPEN
6.	PULL LEVER ON VALVE NO. 1 TO OPEN MAIN RELEASE VALVE
7.	PULL LEVER ON VALVE NO. 2 TO OPEN CO <sub>2</sub> -CYLINDER BATTERY
8.	SYSTEM IS OPERATIONAL, CO <sub>2</sub> WILL BE RELEASED AFTER 30 SECONDS

### 10.1.2 Conclusie testlessen

Nadat de vragen van de studenten beantwoord waren, mochten deze het systeem zelf activeren. Hierbij werd vastgesteld dat er twijfel aanwezig was over het openen van de stuurcilinders. De studenten hadden de neiging om eerst klep één en klep twee (instructies 6 & 7, tabel 12) te openen alvorens de stuurcilinders te openen (instructie 5, tabel 12). Nadien werd voorgesteld om eventueel de nummering van de instructies aan te brengen op het schaalmodel, zodat de verschillende stappen nog duidelijker werden aangegeven. Op deze manier kunnen misverstanden vermeden worden bij het activeren van het schaalmodel. Tabel 13 geeft voor- en nadelen van het aanbrengen van nummering op het schaalmodel.

Tabel 13 Voor- en nadelen van het aanbrengen van overeenstemmende nummering op het schaalmodel  
Bron: eigen werk

<b><u>Aanbrengen van overeenstemmende nummering op schaalmodel</u></b>	
<b>Voordelen</b>	<b>Nadelen</b>
Vergemakkelijkt het volgen van de handelingen die overeenstemmen met de instructies op de deur van het CO <sub>2</sub> -bedieningspaneel.	Studenten zijn zich minder bewust van de gevolgen van de handeling die ze juist aan het uitvoeren zijn
Vergroot de kans op een correcte activatie van het schaalmodel	De kans is groot dat deze nummering aan boord niet te vinden zal zijn op het CO <sub>2</sub> -bedieningspaneel

Aangezien het doel van het schaalmodel is om studenten bewust te maken van de volledige werking en bediening van een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem, werd er besloten om geen overeenstemmende nummering van de instructies aan te brengen op het schaalmodel. Het achterwege laten van deze nummering stemt het meest overeen met de realiteit aan boord. Moest aan boord deze overeenstemmende nummering wel zijn aangebracht, kan dit beschouwd worden als een voordeel. De studenten zouden na het volgen van de theorielessen voldoende kennis moeten bezitten over het activeren van het schaalmodel. In geval van het hanteren van een foute volgorde van de instructies, zal het systeem niet of op een foute manier werken. In dit geval kan de noodstop worden ingedrukt om nadien het systeem opnieuw gebruiksklaar te maken zoals wordt beschreven in hoofdstuk 10.5.2.2. De student kan daarna opnieuw de procedure volgen om het schaalmodel te activeren en op deze manier leren uit de voordien gemaakte fout(en).

Om fouten tijdens de activering van het schaalmodel te verminderen werd een instructievideo gemaakt waarin alle uit te voeren handelingen in de correcte volgorde getoond worden. Deze video kan teruggevonden worden via volgende link: <https://youtu.be/XLHVUJjSOVE>.

Voor de meeste studenten, op een paar enkelingen na, was hun kennis over zulke blussystemen zo goed als nihil. Nadat het systeem werd uitgelegd, geactiveerd door een medestudent en het volledige activeringsproces werd doorlopen aan de hand van de instructies, was de feedback positief. Ze begrepen de werking en het nut van een vaste CO<sub>2</sub> blusinstallatie aan boord.

Uit deze testlessen kan volgende conclusie getrokken worden: een theorie- en praktijkles over het gebruik van dergelijke systemen aan de hand van het schaalmodel, is een absolute meerwaarde voor de kennis van toekomstige officieren. Dit zal resulteren in een betere veiligheid aan boord.

## **10.2 Theoretical part about fixed high-pressure CO<sub>2</sub> total flooding fire-extinguishing system in engine rooms**

The following part contains the most important aspects of the CO<sub>2</sub> fire-extinguishing system. Following in chapter is written in English, so it can be used as course material for students.

### **10.2.1 Definitions**

A fixed high-pressure CO<sub>2</sub> total flooding fire extinguishing system is one of the most common fixed firefighting systems installed on a majority of seagoing vessels. It releases CO<sub>2</sub> in bulk quantity into a protected space such as engine room, cargo hold or pump room under fire (“CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships”, 2015).

**‘Fixed’** means that the whole system (cylinders, valves, pipelines, nozzles, etc.) is attached to the vessel’s structure and cannot be removed, like a water spraying system. Portable CO<sub>2</sub> fire extinguishers are an example of non-fixed firefighting arrangements.

**‘Total flooding’** means that the CO<sub>2</sub> is released through multiple nozzles at the top of the protected space and will fill the entire protected space with CO<sub>2</sub> in order to suppress the fire.

Efficient **storage of CO<sub>2</sub>** is possible by storing as much CO<sub>2</sub> as possible without occupying too much space. So, CO<sub>2</sub> needs to be stored in a fluid state. This can be achieved in two ways. The first option to keep CO<sub>2</sub> in a fluid state is by refrigerating one storage tank filled with CO<sub>2</sub>, this principle is used in a low-pressure CO<sub>2</sub> fire extinguishing system. Pressures vary between 18 and 22 bars (IMO, 2016).



The 'high-pressure' fire extinguishing system uses the second option. CO<sub>2</sub> is pressurized and stored in multiple steel cylinders located in the CO<sub>2</sub> room. The pressure in these cylinders varies with the ambient temperature in CO<sub>2</sub> room (56 bars at 20°C). Ships sailing in warm areas encounter higher ambient temperatures in the CO<sub>2</sub> room and the temperature, and thus the pressure, in the cylinders will rise. Also when a fire breaks out in the CO<sub>2</sub> room, the temperature and pressure in the cylinders will rise to dangerous levels and explosions need to be avoided. For this reason, a bursting disc is mounted on every cylinder. The bursting disc, as shown on figure 37, will break and release the CO<sub>2</sub> into the CO<sub>2</sub> room when the temperature in the cylinders exceed 63°C, with a corresponding pressure of 177 bars ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015).



Figure 37 Bursting disc on CO<sub>2</sub> cylinder  
Source: own work

### **10.2.2 Purpose of a proper knowledge about a CO<sub>2</sub> fire extinguishing system**

When an engine room fire occurs on a vessel, it has to be considered as a major problem and has to be dealt with accordingly.

Several case studies of fires on board vessels where the CO<sub>2</sub> fire extinguishing system has been used show us that many things can go wrong if the system is not used correctly. For example:

- Loss of propulsion on board of the MSC Flaminia due to an incorrect installation of the CO<sub>2</sub> pipeline system.
- Explosion in the engine control room on the Carolina Maersk due to insufficient training and knowledge about the activation procedure.

To prevent disasters while using the CO<sub>2</sub> fire extinguishing system, a proper knowledge about the working principle and the activation procedure is extremely important in order to extinguish an engine room fire successfully.

### 10.2.3 Working principle of CO<sub>2</sub>

In firefighting, CO<sub>2</sub> affects two sides of the fire triangle. The most important influence that CO<sub>2</sub> has is to reduce the oxygen level in the protected space in order to suffocate the fire. When there is a decrease in oxygen concentration of 14 - 15% there is insufficient oxygen left in the room to keep the fire going (Corbett, 2009). With normal fires at the surface of the burning material, 35% CO<sub>2</sub> per unit volume will be sufficient to suffocate the fire (Skaggs R, 1998).

A second side on which CO<sub>2</sub> has an influence is that of energy (temperature). CO<sub>2</sub> is present in its liquid form in fixed fire extinguishing systems and in fire extinguishers. When CO<sub>2</sub> will be used in firefighting, the expansion will create 'CO<sub>2</sub> snow' when the liquid CO<sub>2</sub> reaches the nozzles and will transform into the gaseous phase.

This 'CO<sub>2</sub> snow' has a temperature of -79.5 ° C and will have a cooling effect on the fire and the surrounding space. This effect is negligible in comparison with the suffocation effect (Ansul, z.d.), (VEBON-NOVB & VIVB, 2015).

CO<sub>2</sub> works well in class B fires and in fires where electrical equipment is present. CO<sub>2</sub> has little or no effect on other classes. The gas cannot penetrate deep enough at class A and cannot stop the smouldering of the fixed components (American Bureau of Shipping, 2017).

The following table 14 gives an overview of the advantages of the use of CO<sub>2</sub> as a fire-extinguishing medium.

Table 14 Advantages of using CO<sub>2</sub> as a fire extinguishing agent  
Source: own work

Advantages
- Density is 1,5 times higher than air, a layer of CO <sub>2</sub> will form at the base of the fire.
- CO <sub>2</sub> is not corrosive
- CO <sub>2</sub> can easily be liquefied
- Leaves no residues after being used
- Does not deteriorate with age

#### **10.2.4 Dangers related to the use of CO<sub>2</sub> fire extinguishing systems**

When using and performing maintenance on fixed CO<sub>2</sub> fire extinguishing systems on board, it is important to know which safety aspects and precautions are necessary when using these systems.

The CO<sub>2</sub> cylinders are stored in specially designed, enclosed space called the CO<sub>2</sub> room. This room is not regularly entered on board, only for the maintenance on the system.

Some examples of maintenance inspections on board are: leak tests, measuring bottle quantities, blowing out the pipes to remove obstructions formed by dry ice or rust, ... When one of these tests finds leaks in the system or cylinders where the CO<sub>2</sub> content is less than expected, the crew members are, in this enclosed space, most likely exposed to a too high concentration of CO<sub>2</sub>. Therefore, the use of an oxygen meter to measure the oxygen content when entering a space is very important. If the oxygen meter measures an insufficient concentration of oxygen, the room must be entered with a breathing apparatus as described in the SOLAS and the FSS code. If entering the room is not urgent, it can be ventilated long and thoroughly in order to completely dissipate CO<sub>2</sub> out of the space (“CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships”, 2015).

When firefighting is already taking place and several teams have redeemed each other, confusion can arise about who is situated where. Before deciding to use CO<sub>2</sub>, it is important to gather at the evacuation point to carry out a second headcount to make sure that nobody is left in the protected space (Samotra, 2016).

The use of large amounts of CO<sub>2</sub> can result in large pressure increases. The extra volume flows into an enclosed space, such as an engine room, under high pressure and speed. This pressure wave creates a positive pressure, which can be large enough to damage structures of the room. This means that when CO<sub>2</sub> is released, measures must be taken to ensure that this overpressure can leave the engine room safely, in order to prevent damage (PGS, 2014).

Following table 15 gives an overview of the disadvantages of the use of CO<sub>2</sub> as a fire-extinguishing medium.

Table 15 Disadvantages of the use of CO<sub>2</sub> as a fire extinguishing agent

Source: own work

Disadvantages
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Danger of suffocation</li> <li>- Rise of pressure can cause damage to the ship's structure</li> <li>- CO<sub>2</sub> is colourless and odourless</li> <li>- CO<sub>2</sub> is toxic</li> </ul>

### 10.2.5 Main components and working principle

All components used in a fixed CO<sub>2</sub> fire extinguishing system are also implemented in the Antwerp Maritime Academy's scale model and can be found in its Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) below.

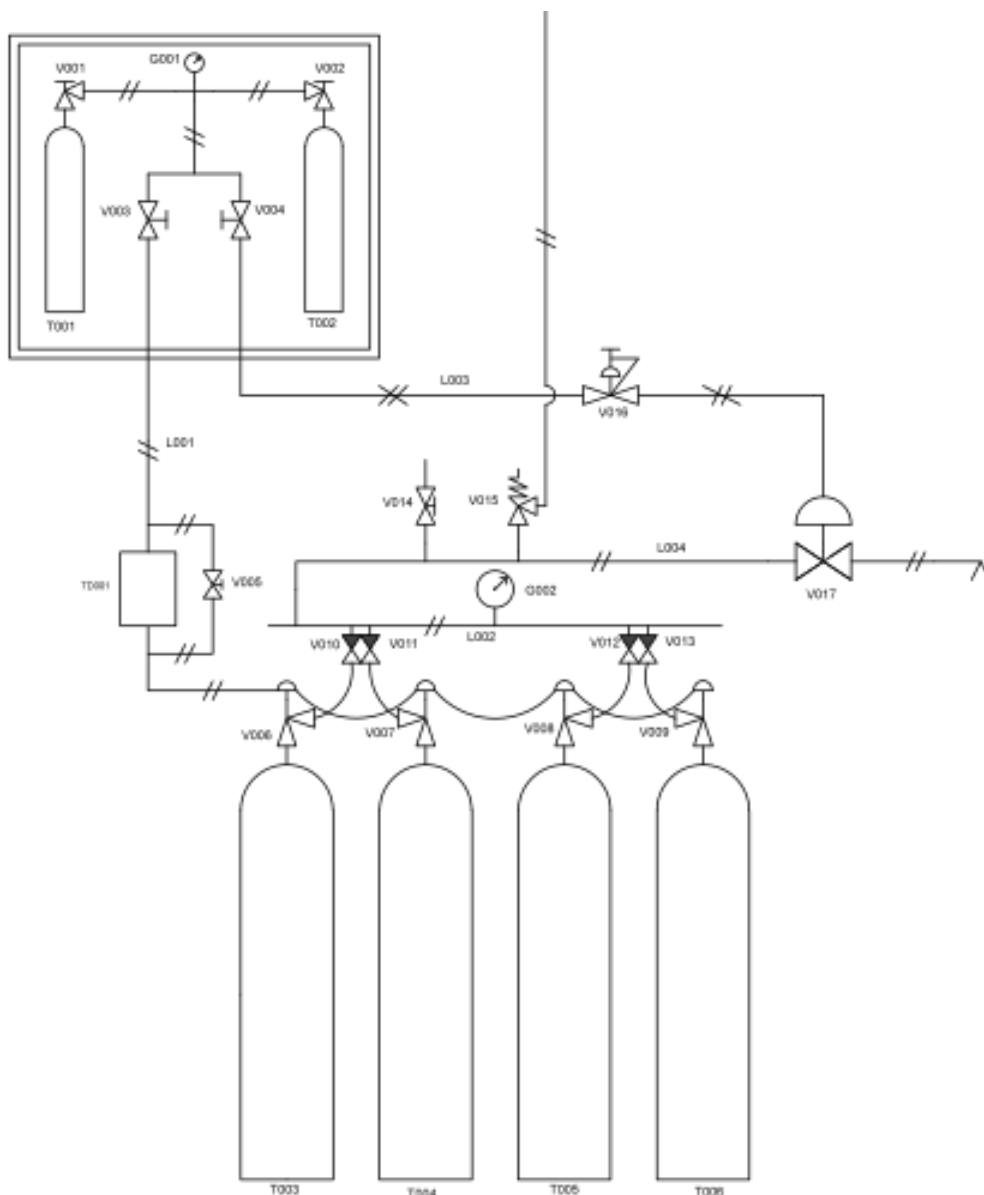


Figure 38 P&ID with identification numbers

Source: own work















Lines:	 pneumatic line  pneumatic binary line  flexible hose	Other:	 CO2 - cylinder  pressure gauge  time -delay unit  nozzle
Valves:	 manually operated angle valve  manually operated valve  pneumatically operated angle valve  pneumatically operated valve  pressure reduction valve with set-point  pressure relief valve (safety valve)  non-return valve		

Figure 39 Legend of the components of the P&ID

Source: own work

Table 16 Identification of the components shown on the P&ID

Source: own work

T001	Pilot cylinder	V003	Release valve nr.2
T002	Pilot cylinder	V004	Release valve nr. 1
T003	CO <sub>2</sub> cylinder	V005	Time delay bypass valve
T004	CO <sub>2</sub> cylinder	V006	Cylinder valve
T005	CO <sub>2</sub> cylinder	V007	Cylinder valve
T006	CO <sub>2</sub> cylinder	V008	Cylinder valve
G001	Pilot cylinder pressure gauge	V009	Cylinder valve
G002	Manifold pressure gauge	V010	Manifold non-return valve
L001	Time delay line	V011	Manifold non-return valve
L002	Manifold	V012	Manifold non-return valve
L003	Main valve line	V013	Manifold non-return valve
L004	Main release line	V014	Air-connection valve
TD001	Time delay unit	V015	Pressure relief safety valve
V001	Pilot cylinder valve	V016	Pressure reduction valve
V002	Pilot cylinder valve	V017	Main release valve

Activation of the fixed high-pressure CO<sub>2</sub> total flooding fire-extinguishing system starts in the CO<sub>2</sub> release cabinet where the two pilot cylinders (T001 and T002) are located. Only one release cabinet is implemented in the scale model. On board we can find two or more release cabinets located on different locations.

One is always located in the CO<sub>2</sub> room; the other release cabinet(s) is (are) located in the fire station(s) or control room. The content of the release cabinets is the same for all locations and perform the same actions. Activating the system is done by breaking the glass of the key box (next to each release cabinet), taking out the key, and opening the release cabinet. The two pilot cylinders in the release cabinet are filled with liquid CO<sub>2</sub> at a pressure of 56 bars and this gas will only be used as a driving gas and will not be released into the protected space (“CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships”, 2015, p. 2). When the pilot cylinders are opened, the two valves (V003 and V004) in the release cabinet can be opened, by pulling the levers, in order to open the main release valve (V017) and to activate the time delay unit (TD001) pneumatically. When valve nr. 1 (V004) is opened by pulling the first lever to activate the main release valve, the CO<sub>2</sub> passes through a pressure reduction valve (V016) to reduce the pressure in the pneumatic binary line to the valve specific maximum allowable working pressure of the main release valve. Opening valve nr. 2 (V003) with the second lever, activates the electronic time delay unit. This time delay unit waits at least 20 seconds, as prescribed in chapter II-2 of the SOLAS, before letting the CO<sub>2</sub> through to the cylinder valves (V006, V007, V008 and V009) (IMO, 2017). On board, these time delays are set at 60 to 90 seconds to give more time to personnel, who may be left in the protected space, to evacuate (“CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships”, 2015). In case of a defect in the time delay unit, CO<sub>2</sub> can still pass through by opening the bypass valve (V005). This valve should only be opened when all personnel has left the protected space. Performing a headcount at the muster stations can help confirming all personnel have left the protected space. CO<sub>2</sub> is stored in steel cylinders (T003, T004, T005, T006), which contain 45kg of CO<sub>2</sub>. The number of CO<sub>2</sub>-cylinders needed, depends on the volume of the largest enclosed space that needs to be protected by the CO<sub>2</sub>-system. The amount of stored CO<sub>2</sub> (kg) must be sufficient to fill a minimum of 40% of the total volume of the largest engine room with free gas as stated in chapter II-2 of the SOLAS. If a cargo space needs to be protected with CO<sub>2</sub>, 30% of the volume needs to be filled with CO<sub>2</sub> (IMO, 2016). Following example shows how the amount of cylinders is calculated (“CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships”, 2015).

Given: Cylinders have a capacity of 45 kg CO<sub>2</sub>

Volume of the engine room is 6856 m<sup>3</sup>

The density of CO<sub>2</sub> is 0,56 kg/m<sup>3</sup>

Engine room needs to be filled CO<sub>2</sub> for 40% of the total volume

Asked: The amount CO<sub>2</sub>- cylinders needed.

Calculation:  $6856 \text{ m}^3 \times 0,40 / 0,56 \text{ kg/m}^3 = 4897,14 \text{ kg CO}_2$

$4897,14 \text{ kg} / 45 \text{ kg} = 108,8 \Rightarrow$  a minimum of 109 CO<sub>2</sub>-cylinders are needed.

(“CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships”, 2015)

When CO<sub>2</sub> is let trough by the time delay unit, a pneumatic actuator opens all cylinder valves on top of the CO<sub>2</sub>-cylinders. CO<sub>2</sub> can now escape to the manifold (L002) through flexible hoses connected to the manifold, passing a non-return valve (V010, V011, V012, V013). Since the main release valve is already opened, CO<sub>2</sub> in the manifold flows through distribution pipelines towards the nozzles and is released into the protected space. According to chapter 5/2.1.2.1 of the FSS Code, the distribution pipelines and nozzles should provide a uniform release of CO<sub>2</sub> into the protected space (IMO, 2016). During periodic surveys on these systems, pressure tests are carried out by connecting an air compressor to the pipeline system at the air connection valve (V014). In this way, possible leaks and/or obstructions in the pipeline system can be detected. In case there still is an obstruction when the system is activated, pressure will continue rising in the pipelines. To prevent explosions caused by overpressure in the pipeline system, a pressure relief safety valve (V015) is installed. This valve will open at a pressure of 180 bars and will send the CO<sub>2</sub> outside the vessel through a free-to-air line. This high pressure ensures a release into the atmosphere, without the danger of accumulation on deck (“CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships”, 2015).

### **10.2.6 Operational procedure**

The following procedure has to be carried out in chronological order:

1. Gather at the assigned muster station after the sounding of the fire alarm.
2. Locate the fire as fast as possible and determine its size.

3. The captain decides, after consulting the chief engineer, whether to try to extinguish the fire with portable extinguishers if the fire is small enough or activate the CO<sub>2</sub> fire extinguishing system immediately.
4. Start up the emergency generator if the CO<sub>2</sub> total flooding system will be used. This generator keeps the alarms operational and the fire pumps running for boundary cooling.
5. Close all doors, vents and hatches in order to make the engine room airtight.
6. Go to the CO<sub>2</sub> room or fire station and take the key out of the box (next to the CO<sub>2</sub> release cabinet) and open the CO<sub>2</sub> release cabinet. An audible and visible alarm, (pre-CO<sub>2</sub>-alarm), will be activated in the engine room and all ventilation will shut down automatically. Personnel, who are still present in the engine room, notice by hearing and/or seeing the pre-CO<sub>2</sub>-alarm that CO<sub>2</sub> will be released. They should know that they have at least 20 seconds of time left, caused by the time delay mechanism, to evacuate the engine room.
7. Make sure all personnel have evacuated the engine room by repeating the head count.
8. Open both pilot cylinders in the release cabinet, to obtain pressure in the pipelines.
9. Open valve number 1 to open the main release valve by pulling the first lever.

Open valve number 2 to activate the time delay mechanism by pulling the second lever. After at least 20 seconds, the time delay mechanism will open and CO<sub>2</sub> can pass through in order to open the CO<sub>2</sub> cylinders in the CO<sub>2</sub> room. When the CO<sub>2</sub> cylinders are opened, pressure will rise in the manifold and the audible and visible alarm will change from pre-CO<sub>2</sub>-alarm to CO<sub>2</sub>-alarm. The system is now operative and CO<sub>2</sub> is released into the engine room to extinguish the fire ("CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships", 2015).

### **10.2.7 Safety precautions after CO<sub>2</sub> release**

When the system has operated in a correct way, the engine room is filled with CO<sub>2</sub>. Before entering or ventilating the CO<sub>2</sub>-filled space, make contact with the nearest shore station or coast guard. They can provide help in managing the situation.



The following safety precautions need to be taken after the release of CO<sub>2</sub>:

- Confirm that CO<sub>2</sub> is released into the protected space by entering to the CO<sub>2</sub> room wearing breathing apparatus and visually check:
  - If the CO<sub>2</sub> cylinders are opened
  - The pressure gauge on the manifold indicates zero
  - If a white deposit, due to freezing of condensation, is present on the cylinder valves or if the cylinder valves are opened. The CO<sub>2</sub>-cylinders are cold due to the extraction of surrounding heat used in the boiling process of CO<sub>2</sub>.
- Keep the boundary cooling running to cool down the protected space.
- Start the ventilation, only when the fire has been extinguished completely. Visually check it by wearing breathing apparatus and a lifeline when entering the space.
- Ventilate the engine room and carry out measurements of the atmosphere in the space to determine the CO<sub>2</sub> concentration.
- Keep the entrances of the engine room free of obstructions.
- Keep a support team standby at the entrance.

(“CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships”, 2015)

## **10.2.8 Practical part using the scale model**

### **10.2.8.1 Use of air instead of CO<sub>2</sub>**

In the scale model, compressed air is used instead of CO<sub>2</sub>. The colourlessness and odourlessness of CO<sub>2</sub> creates an extra danger factor. Persons who are exposed to a concentration of CO<sub>2</sub>, which is too high, can lose consciousness and die from suffocation without any prior symptoms. When a person gets caught up in CO<sub>2</sub>, other persons may have the tendency to enter the room without considering what caused the loss of consciousness. The colour- and odourlessness will not betray the presence of the gas. As a result, these persons undergo the same fate.

A second aspect of CO<sub>2</sub> that must be taken into account is toxicity. When there is still a sufficient concentration of oxygen in the room, CO<sub>2</sub> can lead to intoxication. In the human

body, CO<sub>2</sub> is formed as a waste product by the metabolism and leaves the body through the respiratory system. CO<sub>2</sub> is an acid and has the property to reduce the acidity in the blood.

Also skin burns may occur when coming into contact with the cold CO<sub>2</sub> (De Merck manual, 2003). Taken all these aspects into account, the use of compressed air in the scale model is much safer. The maximum working pressure in the pipeline system on board is 190 bars. This maximum working pressure in the scale model is reduced to 9 bars for safety reasons.

### 10.2.8.2 Operating instructions

The operating instructions are the instructions that are shown on the door of the release cabinet. In order to obtain a fast activation of the CO<sub>2</sub> system on board, the most critical events of the operational procedure are stated in short sentences. The following instructions are implemented in the scale model:

Table 17 Instruction to use the scale model  
Source: own work

1	CLOSE ALL VENTS, DOORS AND HATCHES
2	BREAK GLASS FOR KEY
3	OPEN CABINET DOOR - ALARMS WILL BE ACTIVATED
4	ENSURE ALL PERSONNEL HAVE VACATED THE PROTECTED SPACE
5	OPEN BOTH PILOT CYLINDERS, TURN ANTI-CLOCKWISE TO OPEN
6	PULL LEVER ON VALVE NO.1 & NO.2, IN THIS ORDER - NO.1 OPENS MAIN VALVE - NO.2 OPENS CO <sub>2</sub> -CYLINDER BATTERY, AFTER 30 SECONDS
7	SYSTEM IS OPERATIONAL, CO <sub>2</sub> WILL BE RELEASED AFTER 30 SECONDS

### 10.3 Instruction movie

The scale model gives a complete overview of the total operation of the CO<sub>2</sub> system. All parts are implemented and the activation process is fully in line with the activation process on board. The following instruction video shows exactly how this procedure should be performed. This video can be found in following link: <https://youtu.be/XLHVUJJS0VE>.

### 10.4 Description of the system for teachers

Next chapter is written for the teachers who are going to use and explain the system to students. This chapter contains all necessary information, useful to students during an explanation and demonstration of the system. Therefore, teachers can only read this part in order to obtain sufficient information about the system.

A scale model of a fixed CO<sub>2</sub> fire extinguishing installation was built for a master thesis in 2018. During the research in the bachelor year, we studied accident reports of on board firefighting where such CO<sub>2</sub> systems were used.

The conclusion was drawn: a lot of officers didn't know how these systems were operated correctly during stress situations such as explosions, fires, ... This lack of knowledge did result in a lot of injuries, some with a deadly outcome.

For the scale model the choice was made to build a system for extinguishing the engine room compartment. In this model all CO<sub>2</sub> cylinders are released at once to one single room in order to extinguish the fire. On board you can find other, similar, systems where a release sequence can be used. In such a system different rows of CO<sub>2</sub> cylinders can be selected on different time periods.

Other system can be capable of selecting different spaces such as separate cargo holds on container vessels. Because these combinations are endless, the scale model focuses on the basics of a high-pressure CO<sub>2</sub> extinguishing system.

The scale model is subdivided in two different compartments:

1. The CO<sub>2</sub> control station (CO<sub>2</sub> release cabinet), the CO<sub>2</sub> cylinders, manifold, ...
2. The engine room, where a fire needs to be extinguished.

In practice, both rooms are physically connected with a piping system to deliver the CO<sub>2</sub> extinguishing agent.

#### **10.4.1 CO<sub>2</sub> release cabinet**

The CO<sub>2</sub> release cabinet can be found on board in different locations. It can be found in the CO<sub>2</sub> room next to the CO<sub>2</sub> cylinders, as demonstrated in the scale model. It can also be found in fire stations. There will be more than one place to activate the system, this as an additional safety.

When the cabinet door is opened an alarm will be activated, the pre-CO<sub>2</sub> alarm. This alarm will be visual and audible. Together with the activation of the alarm the ventilation shuts down.

The shutdown is an important component in the activation of the system. This is necessary to avoid the evacuation of CO<sub>2</sub> when the system is activated and also prevents a fresh flow of oxygen, which can feed the fire. Keep in mind that a shutdown of the ventilation can have

severe consequences in the engine room. A running diesel engine needs a constant flow of oxygen to keep running. A simple check inside the CO<sub>2</sub> release cabinet out of curiosity can have major consequences on board.

Inside the CO<sub>2</sub> release cabinet two steering cylinder can be seen, these cylinders will ONLY activate the rest of the system. The CO<sub>2</sub> gas inside the steering cylinders is used as a driving gas and has no extinguishing effect. The gas from both cylinders is collected and then blocked by two valves. The first valve activates the main release valve; the second valve activates the time delay unit. These valves are dummy proof and can't be opened when the door of the cabinet is closed. In some system the first valve blocks the second valve to avoid a wrong activation of the system.

### **10.4.2 Time delay unit**

On board there are two different systems in use as time delay. There is a mechanical system and an electronic system. In the scale model an electric time delay unit is used, but there is also a mechanical time delay as an example. The function of the time delay is to hold the CO<sub>2</sub> steering gas for at least 20 seconds before it is send to the CO<sub>2</sub> cylinder battery, in the scale model 30 seconds is used (IMO, 2016). This allows the crew to escape the engine room and be prepare them for an activation of the system. In our system the mechanical time delay was no option due to the high working pressure of minimal 22 bars. The main principle of the system is the compression of a spring due to the pressure from the steering cylinders. The spring will compress in about 30 seconds and will open a valve to allow the flow of CO<sub>2</sub> steering gas.

### **10.4.3 CO<sub>2</sub> cylinders**

On board of every vessel there is one space, which houses all CO<sub>2</sub> cylinders, a CO<sub>2</sub> cylinder battery. The number of cylinders is variable, this in correspondence with the volume of the biggest room that needs to be protected by the system.

Due to safety reasons, the maximum pressure in the scale model is limited to 9 bars and compressed air is used instead of CO<sub>2</sub>. On board, the cylinders are 1,80m high, filled with 45kg of CO<sub>2</sub> and have a pressure of 56 bars. On top of these cylinders a special valve is fitted which is opened by the pressure of the steering gas coming from the CO<sub>2</sub> steering cylinders. As an extra safety, bursting discs are installed in these valves. If the pressure inside the cylinders exceeds 190 bars, CO<sub>2</sub> is released inside the room. The pressure of 177-190 bars is reached at

a temperature of 63°C. Therefore, it is important to have an oxygen meter and to activate the ventilation when you enter a CO<sub>2</sub> cylinder room.

#### **10.4.4 Manifold and main valve**

The manifold collects all the CO<sub>2</sub> gas coming from the CO<sub>2</sub> cylinder battery and transports it to the engine room. On the manifold there is a manometer which indicates the pressure on the manifold itself. The next part is a hose that leads to a pressure switch. This pressure switch will activate the CO<sub>2</sub> alarm inside the protected space when pressure is present on the manifold. This alarm must also be visual and audible but must be different from the pre-CO<sub>2</sub> alarm. This alarm indicates the actual release of CO<sub>2</sub> inside the protected space, in this case the engine room.

Next an air connection valve is fitted; this is used to blow the system with compressed air and checks for any blockage during an inspection. The valve next to the air connection valve is the free to air valve. This consists out of an overpressure valve and is directly connected to the outside atmosphere. The last valve is the main release valve and is activated with the steering gas from the CO<sub>2</sub> steering cylinders. This valve must be opened first, according to the instructions.

#### **10.4.5 Engine room + ventilation**

Before activating the system, all ventilation flaps and fire dampers must be closed. These flaps and dampers are located on the outside of the accommodation and must be closed manually. Closing of these openings is important so the CO<sub>2</sub> remains inside the protected space. Inside the engine room the CO<sub>2</sub> nozzles are installed together with the audible and visual alarm.

## 10.5 Operational manual

### 10.5.1 Overview of the system

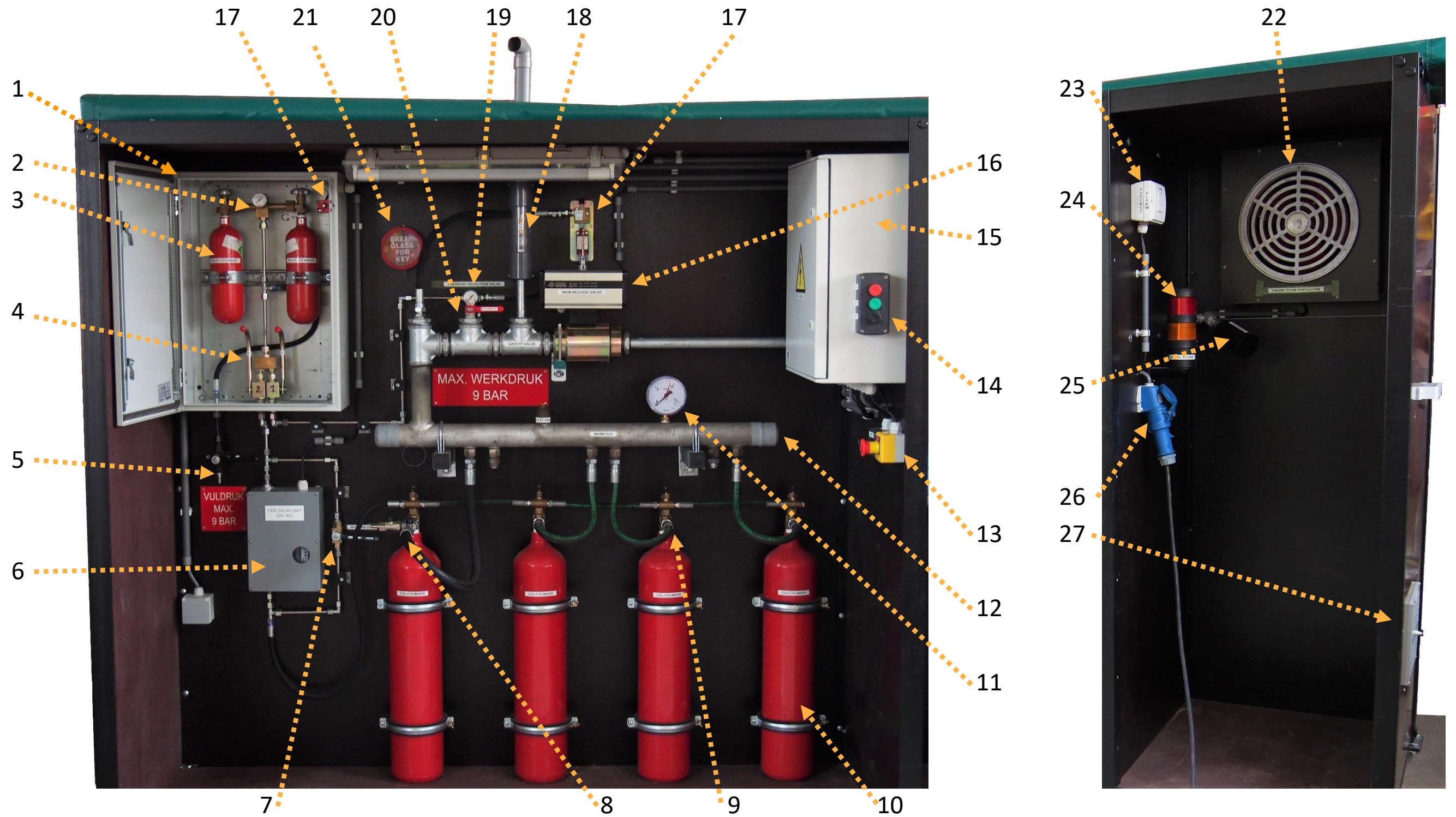


Figure 40 Overview of the build scale model  
Source: own work

Table 18 Identification of the components shown in the overview of the build scale model  
Source: own work


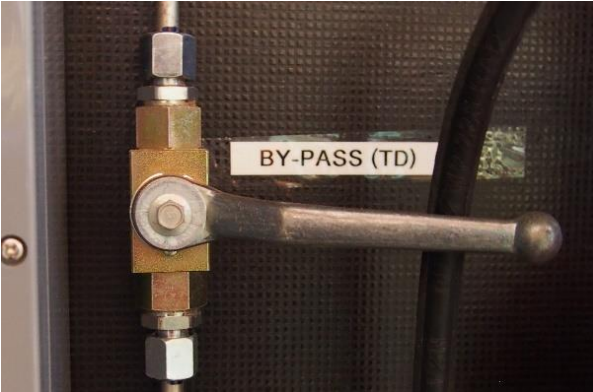

1 CO <sub>2</sub> release cabinet	15 Electric cabinet
2 Pressure gauge inside the CO <sub>2</sub> release cabinet	16 Main release valve
3 CO <sub>2</sub> pilot cylinders	17 Pressure switches (2)
4 Pilot CO <sub>2</sub> release valves	18 Overpressure, free to air, valve (10 bars)
5 Pilot cylinder filling valve	19 Pressure reduction valve
6 Time Delay unit	20 Air connection valve
7 Bypass of the time delay unit	21 Key box
8 CO <sub>2</sub> cylinder filling piece	22 Ventilator
9 CO <sub>2</sub> cylinder release valve	23 Audio alarm
10 CO <sub>2</sub> cylinders	24 Visual alarm
11 Manometer on the manifold	25 CO <sub>2</sub> nozzle
12 Manifold	26 Electric power connection
13 Light switch + emergency switch	27 Fire damper
14 Operating buttons (start, stop, reset	



## 10.5.2 Manual

### 10.5.2.1 Detailed user manual

#### Preparations

<p>1</p>  <p>Figure 41 Pressure gauge on a compressor (left: pressure in the compressor reservoir, right: outgoing pressure) Source: own work</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Check if the outgoing pressure on the compressor is at least 9 bars.</li><li>- The manometer on the right side indicates the outgoing pressure when the compressor is on and filled with air.</li></ul>
<p>2</p>  <p>Figure 42 Bypass valve, closed position Source: own work</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Close the bypass valve of the time delay.</li><li>- The valve is closed when the lever is positioned horizontally.</li></ul>
<p>3</p>  <p>Figure 43 Air connection valve, closed position Source: own work</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Close the air connection valve</li><li>- The valve is closed when the red lever is positioned horizontally</li></ul>



4



Figure 44 Main release valve, closed position  
Source: own work

- Close the actuator of the main release valve.
- To close the actuator, use wrench no. 15 and turn in a clockwise direction. The red card must be perpendicular in correspondence to the flow.

5



Figure 45 CO<sub>2</sub> cylinder filling piece, closed position  
Source: own work

- Close all valves on the CO<sub>2</sub> cylinder filling piece.
- The valves are closed when they are positioned perpendicular in correspondence with the flow.

6



Figure 46 Adjusting the cylinder valve release screw  
Source: own work

- Unscrew the screw at the cylinder release valve.
- To unscrew, turn the inbus counterclockwise, one full turn.

**NOTE**

- If the system is used, the screw can become tighter. If not released, the friction will be too high and the system will fail to operate.
- The screw is adjusted with a number 5 inbus.

7

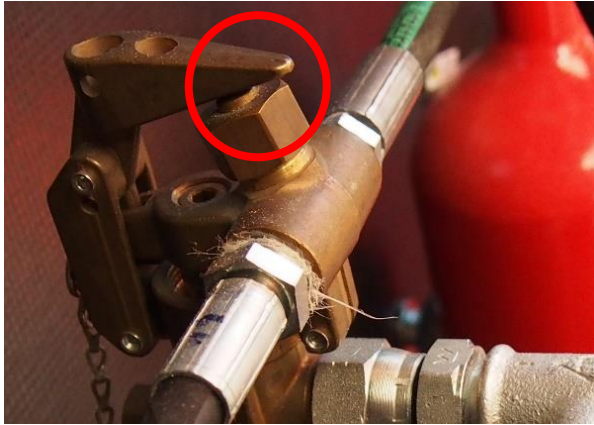


Figure 47 CO<sub>2</sub> cylinder release valve, closed position  
Source: own work

- Close the cylinder release valves
- The valves are in closed position when both parts in the circle are in contact with each other.

8

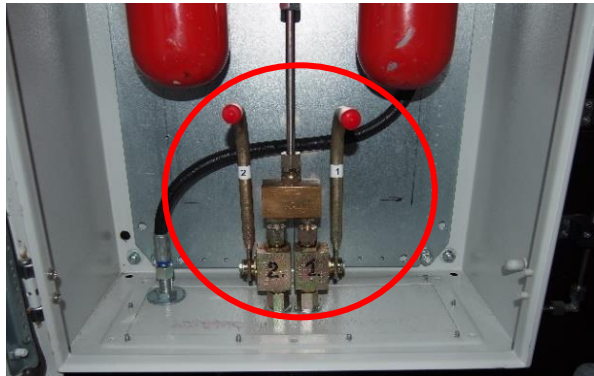


Figure 48 Pilot cylinder release valves, closed position  
Source: own work

- Close both pilot release valves inside the CO<sub>2</sub> release cabinet.
- Both valves are close when they are in upright position.

9



Figure 49 Pilot cylinders filling valve, closed position  
Source: own work

- Close the pilot cylinder filling valve
- The valve is closed when the black lever is positioned horizontally.

10



Figure 50 Power cable, plugged in  
Source: own work

- Connect the electrical cable to the power grid, located inside the engine room.
- The cable is plugged-in correctly when the lid of the cover is hooked behind the frame.

11



Figure 51 Emergency button  
Source: own work

- Check if the emergency switch is not activated.
- The switch is not activated when the button can be pushed.

NOTE

- If the emergency switch is activated, turn the button  $\frac{1}{4}$  until it pops out.

12



Figure 52 Light switch  
Source: own work

- Turn on the light.
- The light is turned on when the switch is pointed to the right.



13



Figure 53 Ventilator + ventilator cover  
Source: own work

- Check if the ventilation cover is open.
- The cover is located at the back of the system. It is in an open position when the ventilator can be seen.

14



Figure 54 Fire damper of the engine room  
Source: own work

- Check if the fire damper in the engine room is open.
- The cover is open when you can see through the ventilation openings, from the outside.

15



Figure 55 Red key box  
Source: own work

- Check if the key for opening the CO<sub>2</sub> release cabinet is stored in the red key box.

**NOTE**

- To save the plastic cover, the box can be opened by pulling out a pin.

## Filling the CO<sub>2</sub> pilot cylinders

1



Figure 56 Opening the CO<sub>2</sub> release cabinet  
Source: own work

- Open the door of the CO<sub>2</sub> release cabinet
- To open the door, the key must be retrieved from the red box and turned clockwise. This as indicated by the arrow.

2



Figure 57 Opening of pilot cylinder valves  
Source: own work

- Open both pilot cylinders until they are fully open.
- To fully open the cylinders, turn anticlockwise, as indicated by the arrows.

3



Figure 58 Compressor connected on pilot cylinder filling piece  
Source: own work

- Connect the compressor coupling to the pilot cylinder filling valve.
- To connect a compressor coupling, push the coupling straight and firmly against the valve.

4



Figure 59 Pilot cylinder filling valve, open position  
Source: own work

- Open the pilot cylinder filling valve.
- The valve is open when the black lever is positioned parallel in correspondence to the flow.

5



Figure 60 Pressure gauge on the pilot cylinders, indicating 9 bars  
Source: own work

- Observe the pressure gauge until 9 bars is reached.

**NOTE**

- The maximum allowable working pressure is 9 bars.
- A minimum of 8.5 bars is compulsory in order to ensure a good working system

6



Figure 61 Closing of the pilot cylinder valves  
Source: own work

- Close both pilot cylinders until they are fully closed
- To fully close the cylinders turn clockwise, in opposite direction of the indicating arrows.



7



Figure 62 Disconnection from the pilot cylinder filling piece  
Source: own work

- Disconnect the compressor from the pilot cylinder filling valve
- The compressor can be disconnected by using the safety installed in the compressor coupling. A coupling can have its own safety system, pulling, pushing a button, ...

8

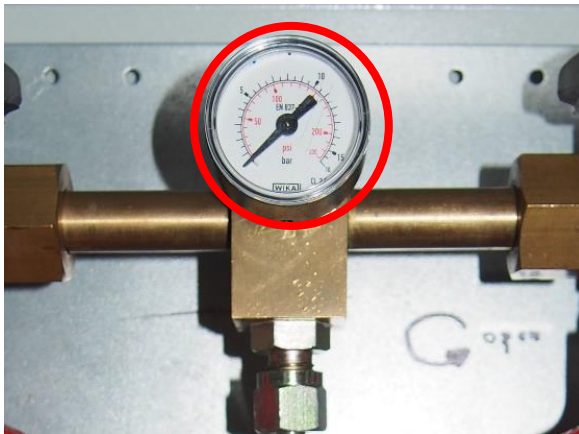


Figure 63 Pressure gauge on the pilot cylinders  
Source: own work

- Check if the pressure gauge indicates zero.
- All pressure must be released from the CO<sub>2</sub> pilot cylinder manifold.

**NOTE**

- If the manifold is not indicating zero, the pilot cylinder filling valve is not totally open or the pilot bottles are not closed firmly.

9



Figure 64 Pilot cylinder filling valve, closed position  
Source: own work

- Close the pilot cylinder filling valve
- The valve is closed when the black lever is positioned horizontally

10

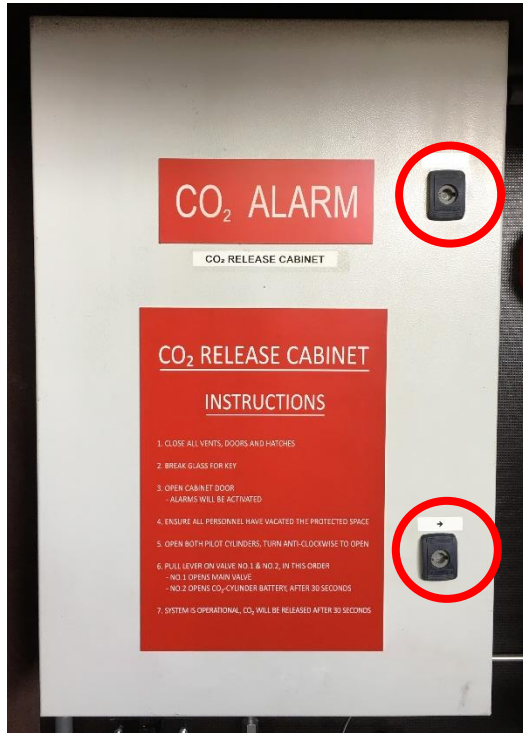


Figure 65 CO<sub>2</sub> release cabinet, closed position  
Source: own work

- Close the CO<sub>2</sub> release cabinet with both locks
- The locks are closed by turning the key counterclockwise.



## Filling of the CO<sub>2</sub> cylinders

1

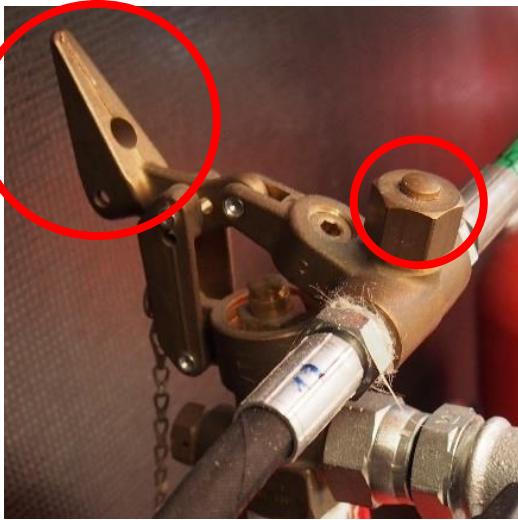


Figure 66 CO<sub>2</sub> cylinder release valve, open position  
Source own work

- Open the cylinder release valve on top of the cylinder
- The valve is in open position if the lid is not in contact with the bottom of the cylinder release valve, red circles.

2



Figure 67 Opening of the pin inside the CO<sub>2</sub> cylinder valve  
Source: own work

- Move the pin, located in the cylinder release valve, upwards. Otherwise filling of the cylinder is impossible.
- To move the pin, use a flat screwdriver. The pin should slide upwards without any resistance.

3



Figure 68 Connected compressor on the CO<sub>2</sub> cylinder filling piece  
Source: own work

- Connect the compressor to the CO<sub>2</sub> cylinder filling piece.
- To connect a compressor coupling, push the coupling straight and firmly against the valve.

4



Figure 69 CO<sub>2</sub> filling piece, compressor connection open  
Source: own work

- Open the filling valve in order to fill the CO<sub>2</sub> cylinder
- The filling valve is in an open position when the valve is parallel in correspondence to the flow.

**NOTE**

- The maximum allowable working pressure is 9 bars.
- A minimum of 8.5 bars is compulsory in order to ensure a good working system

5

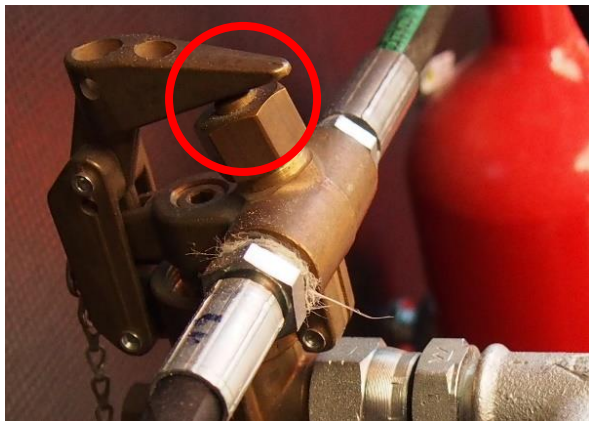


Figure 70 CO<sub>2</sub> cylinder release valve, closed position  
Source: own work

- Close the cylinder release valve.
- The valve is in closed position when both parts are in contact with each other.

**NOTE**

- The cylinder will have a pressure of 9 bars when the compressor stops automatically

6



Figure 71 Adjusting the screw on the CO<sub>2</sub> cylinder release valve  
Source: own work

- Adjust/tighten the screw in the cylinder release manifold.
- The screw must not be tightened to hard, otherwise friction is too high and the system will fail to operate.

**NOTE**

- To test the tightness:  
The cylinder valve can be opened and closed by hand. A firm "click" sound can be heard.
- There is no danger in opening and closing the valve when the compressor is still attached.

7



Figure 72 Compressor disconnected from the CO<sub>2</sub> filling piece

Source: own work

- Disconnect the compressor coupling from the filling piece.

NOTE

- If a small flow of air escapes this is OK. Pressure inside the cylinders will remain high enough.
- If too much air is escaping, adjust the screw as described in step 6.
- If tightened to much the valve will fail to open due to the reduced pressure inside the system

8



Figure 73 CO<sub>2</sub> cylinder filling piece, compressor coupling closed

Source: own work

- Close the filling valve.
- The valve is in closed position when the valve is positioned perpendicular in correspondence to the flow

9



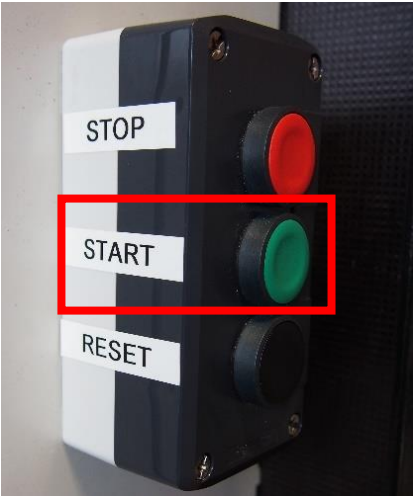
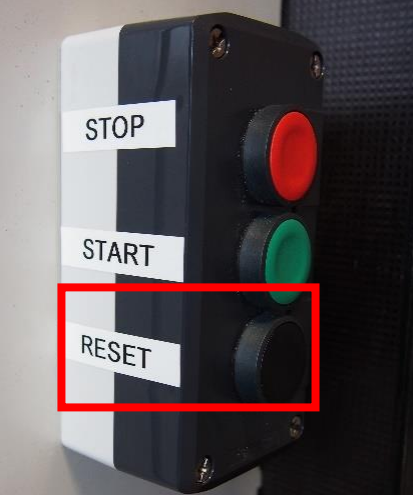
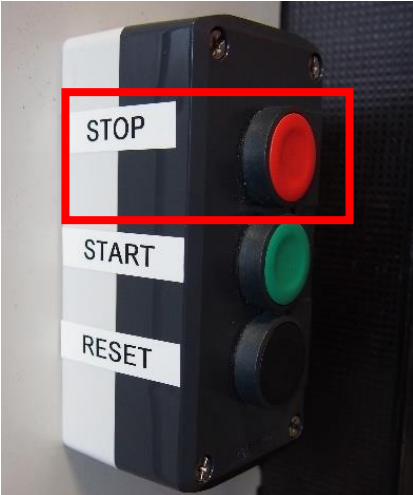
Figure 74 CO<sub>2</sub> filling piece, opened to the manifold side

Source: own work

- Open the manifold valve on the filling piece. This valve will connect the CO<sub>2</sub>-cylinder with the manifold
- The valve is in an open position when the valve is parallel in correspondence to the flow.



## Explanation of the buttons and switch

<p>1</p>  <p>Figure 75 Green starting button Source: own work</p>	<p>- The green start button is used to make the system operational. All electrical components will be activated.</p>
<p>2</p>  <p>Figure 76 Black reset button Source: own work</p>	<p>- The black reset button is used to reset the electrical system AFTER it was used completely.</p> <p>- To reset the system the CO<sub>2</sub>-release cabinet should be closed, the last alarm must be activated (red light, ringing sound).</p> <p>NOTE</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- When the system is reset the alarm should go off, the ventilator should start running.</li><li>- If problems occur a detailed explanations of the buttons can be found at the end of this manual.</li></ul>
<p>3</p>  <p>Figure 77 Red stop button Source: own work</p>	<p>- The red stop button will ONLY work after a reset (push on the black button) of the system.</p> <p>NOTE</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- When the electrical system is running (release cabinet open, ...) the red button will NOT work.</li><li>- In case something goes wrong, the emergency stop must be used.</li></ul>

4



Figure 78 Emergency switch  
Source: own work

- The red and yellow emergency button can always be used. This button cuts off the electricity for the system.

NOTE

- If problems occur check the button explanation.
- To make the system operational after pressing the emergency button, check the detailed explanation of the buttons at the end of this manual.

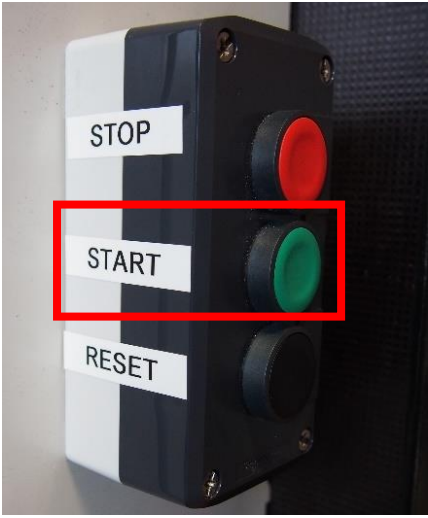


5



Figure 79 Light switch  
Source: own work

- The light switch turns on the light.

## Operating the system

<p>1</p>  <p>Figure 80 Green start button Source: own work</p>	<p>- Push the green button to activate the electrical system.</p> <p>NOTE</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- This is only successful if the system is in initial condition, described at the end of this manual.</li><li>- The ventilator starts running</li></ul>
<p>2</p>  <p>Figure 81 Black reset button Source: own work</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Press the reset button</li><li>- This step is to make sure all relays and time delay unit are reset. Otherwise the system will fail or failures can occur.</li></ul>
<p>3</p>  <p>Figure 82 Ventilation flap, closed position Source: own work</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Close the ventilation cover from the engine room ventilator.</li><li>- The cover is closed when the ventilator is not visible from the outside.</li></ul>

4



Figure 83 Fire damper from the engine room, close position  
Source: own work

- Close the engine room fire damper by sliding.
- The fire damper is closed when you can't see through the ventilation openings.

5



Figure 84 Key box  
Source: own work

- Retrieve the key from the red key box
- To safe the plastic cover, the red box can be opened by removing the pin.

6



Figure 85 Opening of the CO<sub>2</sub> release cabinet  
Source: own work

- Open the door of the CO<sub>2</sub> release cabinet
- To open the door, the key must be turned clockwise, as indicated by the arrows on the two door locks.

**NOTE**

- The first audio alarm will go of together with a visual alarm (orange light) in the engine room compartment
- The ventilator will stop running



Figure 86 Visual alarm  
Source: own work



7



Figure 87 Opening of the pilot cylinder filling valves  
Source: own work

- Open both pilot cylinders until they are fully open.
  - To fully open the cylinders, turn anticlockwise, as indicated by the arrows. The manometer will go from 0 to 9 bars
- NOTE

- When both pilot cylinders are open, the pressure gauge should indicate at least 8 bars.

8



Figure 88 Activation of the main release valve, right lever  
Source: own work

- Open the first valve to activate the main release valve. The valve is indicated with number one.
- The lever of the valve is in open position when the red top is facing down.

NOTE:

- The red card on top of the main actuator has turned and is clearly visible, parallel in correspondence to the flow.



Figure 89 Main release valve, open position Source: own work

9

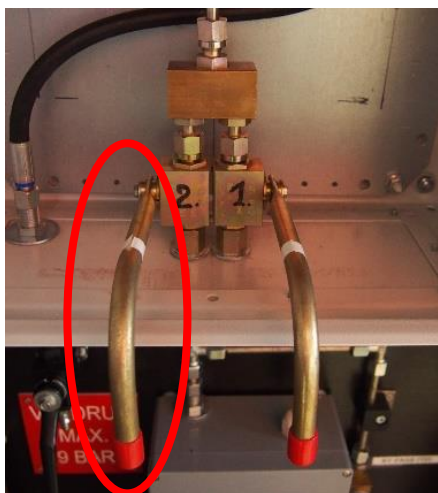


Figure 90 Activation of the time delay unit, left lever  
Source: own work

- Open the second valve to activate the time delay unit. The valve is indicated by number two.
- The lever of the valve is in open position when the red top is facing down.

NOTE

- Both levers are facing down



10



Figure 91 Time delay unit, activated  
Source: own work

- Check if the light on the time delay unit is flashing.
- The flashing light indicates the activation of the unit. The light will flash for 30 seconds.

11



Figure 92 Visual alarm  
Source: own work

- After 30 seconds the system will activate
- NOTE
- The cylinders will open
  - 2<sup>nd</sup> audio alarm will sound
  - 2<sup>nd</sup> light will turn on (red)

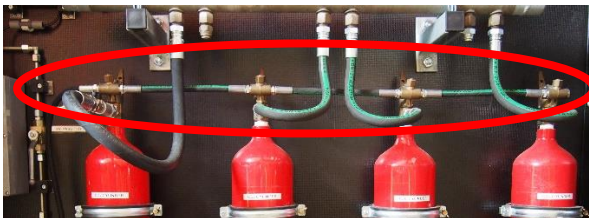


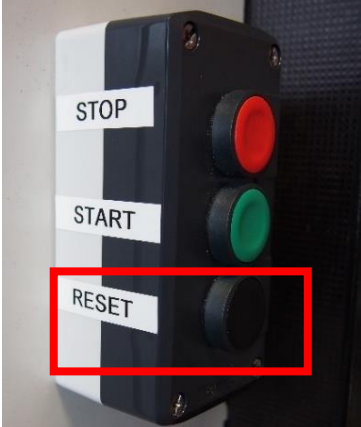
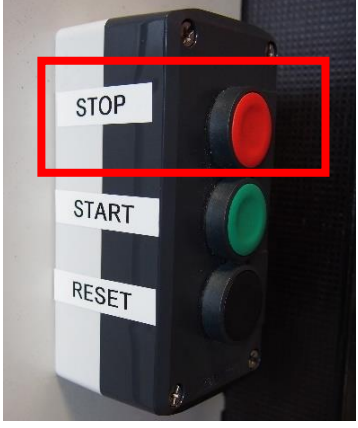


Figure 93 CO<sub>2</sub> cylinders, open position  
Source: own work

## Reset and depressurizing the system

<p>1</p>  <p>Figure 94 CO<sub>2</sub> release cabinet, closed position Source: own work</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Close the CO<sub>2</sub> release cabinet.</li> <li>- To close the door, turn the key anticlockwise. This is in opposite direction as indicated by the arrows.</li> </ul> <p>NOTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The system can also be reset by pushing the switch from the release cabinet manually.</li> </ul>  <p>Figure 95 Pressure switch inside CO<sub>2</sub> release cabinet Source: own work</p> <p>When pushing the switch, the buttons need to be operated.</p>
<p>2</p>  <p>Figure 96 Black reset button Source: own work</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Push the black button to reset the system.</li> <li>- Check if the pressure is off the manifold before resetting. The alarm goes off and the ventilator activates again.</li> </ul> <p>NOTE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- All pressure must be off the manifold. This to ensure the second pressure switch is in an open position.</li> </ul>
<p>3</p>  <p>Figure 97 Red stop button Source: own work</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Push the stop button</li> <li>- The ventilator will shut down</li> </ul>

4



Figure 98 Opening of the CO<sub>2</sub> release cabinet  
Source: own work

- Open the door of the CO<sub>2</sub> release cabinet
- To open the door, the key must be turned clockwise, as indicated by the arrow.

5

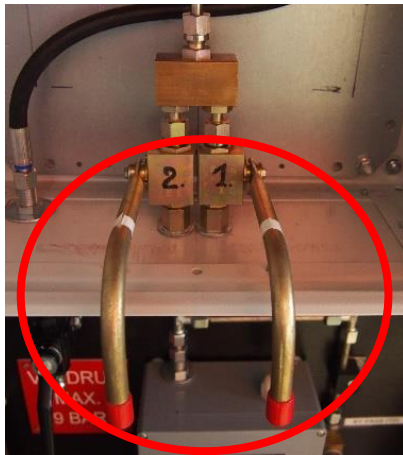


Figure 99 Both release valves, open position  
Source: own work

- Open both valves inside the release cabinet.
- The lever of the valve is in open position when the red top is facing down.

NOTE

Both levers are facing down

6



Figure 100 Bypass on the time delay unit  
Source: own work

- Open the time delay bypass valve
- The valve is in open position when the lever is positioned parallel in correspondence to the flow.

7



Figure 101 Pilot cylinder filling valve, open position  
Source: own work

- Open the pilot cylinder filling valve.
- The valve is open when the black lever is positioned parallel in correspondence to the flow.

NOTE

- All pressure inside the system will be released through this valve.

8



Figure 102 Pressure gauge on the pilot cylinders, indicating zero  
Source: own work

- Check if the pressure gauge in the release cabinet and on the pressure reduction valve is indicating zero.

NOTE

- The maximum allowable pressure at the actuator from the main valve is 7,5 bars. After some testing, the valve opens smoothly at 3 bars. Therefore, the pressure reduction valve is set at 3 bars.



Figure 103 Pressure gauge on the pressure reduction valve, indicating zero  
Source: own work



9

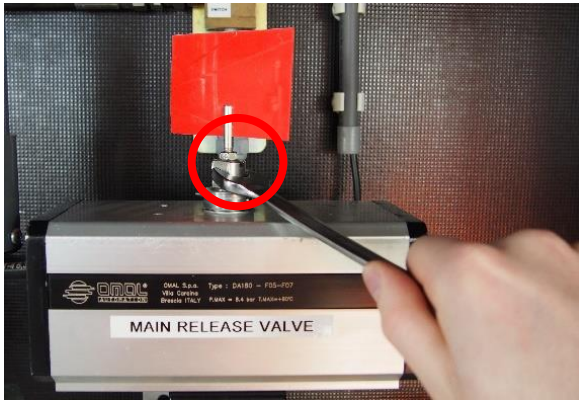


Figure 104 Closing of the main release valve, with wrench no.15

Source: own work

- Close the main valve actuator
- To close the actuator, use wrench number 15 and turn in a clockwise direction. The red card must be perpendicular in correspondence to the flow.

**NOTE**

- If a valve remains closed, it is impossible to turn the actuator with a wrench due to backpressure

10



Figure 105 Red key box

Source: own work

- Place the key back inside the red key box

### 10.5.2.2 Detailed description of the buttons in the scale model

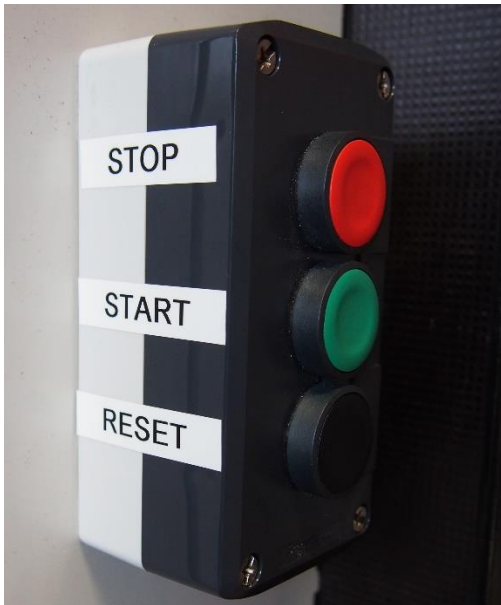


Figure 106 Stop, start, reset button  
Source: own work



Figure 107 Light and emergency switch  
Source: own work

In the scale model, following buttons can be found: black, green, red, emergency stop and the light switch.

Before the scale model can be used, it needs to be started. This can be done when the system is in the initial condition, and the electrical system is reset. The reset and the initial condition ensures a good functionality of the scale model during the lessons.

The initial condition is described as follows

- The door of the CO<sub>2</sub>-release cabinet is closed, this to push the pressure switches located on the door.
- There is no pressure on the manifold, this can be checked with the pressure gauge on the manifold. No pressure will result in an open pressure switch, located above the manifold.
- A reset of the electrical system is achieved by pressing the black button

Only if these conditions are met, the system is in initial condition and is ready to start.

### **The black button**

This button is used to reset the contactors in the electricity cabinet. After a lesson is given and the CO<sub>2</sub> alarm is sounding, the scale model must be returned to initial condition. Practically this is done by closing the door of the CO<sub>2</sub> release cabinet, pressure on the manifold has reduced to zero if the system is used correctly. Pressing the black button will start up the ventilator again and shuts down the CO<sub>2</sub> alarm. The electrical part of the system is ready to be used again. Also, when activating the system with the green button, push the reset button to make sure all the conductors are in the correction operational condition.

### **The green button**

This button starts the system when it is placed in initial condition. If the system is running, there is no further purpose for the green button. After pressing the green button, be aware of pressing the black button once to ensure the contactors are reset and thus in the correct position.

### **The red button**

This button is used to stop the electrical system. This button is only functional when the system is in initial condition. Practically this button only works after the green button or the reset button is pressed. If the system is operational, an alarm is hearable, CO<sub>2</sub> cabinet door is open, ... this button will not have any influence on the system.

### **The emergency button**

This button will cut of the electricity in the electrical system at any time. Only the light and the electric socket will remain under power. This button must be used in case of any emergency such as alarm trips, ventilator trips, ... If the system malfunctions, an alarm trips without any reason, the start button is pressed when the CO<sub>2</sub> release cabinet door is open, the pressure switch at the manifold is activated, ... the emergency button needs to be pressed to deactivate the system. After returning the system to its initial condition, the emergency button can be deactivated and the system can be start up again with the green button. In case of a malfunction of the system, the emergency button is the only one which can influence the system, all other buttons will be useless.




### **Light switch**

The light switch will turn on the light in the scale model.

## Hoofdstuk 11 Onderdelenlijst

In onderstaande hoofdstukken worden de verschillende onderdelen van het schaalmodel opgelijst. De lijst zal geen volledige inventaris zijn van elk onderdeel in het schaalmodel, maar beperkt zijn tot de onderdelen die gevoelig zijn voor slijtage. Indien een onderdeel faalt, zal aan de hand van onderstaande lijst informatie over het desbetreffende onderdeel beschikbaar zijn.

### 11.1 Onderdelen in de elektriciteitskast

 <p>ESC425S</p> <p>Figuur 108 Häger contactor ESC425S Bron: Häger (2018)</p>	<p>Häger contactor</p> <p>Soort contact: vier maakcontacten</p> <p>Stroom: 25 A</p> <p>Spanning: 230 V</p> <p>Referentienummer: ESC425S</p> <p>In het schaalmodel: twee contactoren aanwezig</p>
 <p>ESC225S</p> <p>Figuur 109 Häger contactor ESC225S Bron: Häger (2018)</p>	<p>Häger contactor</p> <p>Soort contact: twee maakcontacten</p> <p>Stroom: 25 A</p> <p>Spanning: 230 V</p> <p>Referentienummer: ESC 225S</p> <p>In het schaalmodel: twee contactoren aanwezig (Häger, 2018)</p>
 <p>ESC427</p> <p>Figuur 110 Häger contactor ESC 427 Bron: Häger (2018)</p>	<p>Häger contactor</p> <p>Soort contact: twee maak- + twee verbreekcontacten</p> <p>Stroom: 25 A</p> <p>Spanning: 230 V</p> <p>Referentienummer: ESC 427</p> <p>In het schaalmodel: twee contactoren aanwezig (Häger, 2018)</p>

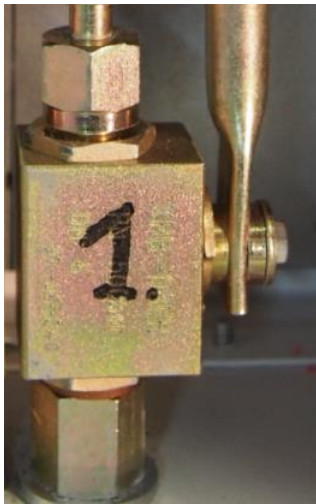


 <p>Figuur 111 Häger automaat 16 A Bron: Häger (2018)</p>	<p>Häger automaat</p> <p>Stroomsterkte: 16 A</p> <p>Referentienummer: MWN 216</p> <p>In het schaalmodel: één automaat van 16 A aanwezig (Häger, 2018)</p>
 <p>Figuur 112 Häger automaat 20 A Bron: Häger (2018)</p>	<p>Häger Automaat</p> <p>Stroomsterkte: 20 A</p> <p>Referentienummer: MWN 220</p> <p>In het schaalmodel: één automaat van 20 A aanwezig (Häger, 2018)</p>
 <p>Figuur 113 Dold tijdcontactor Bron: Dold (2018)</p>	<p>Dold tijdcontactor</p> <p>Spanning: 230 V</p> <p>Tijdsverloop: 0,02 seconden tot 300 uur</p> <p>Referentienummer: IK7817N.81/200</p> <p>In het schaalmodel: één aanwezig in de elektriciteitskast; één aanwezig in het vertragingsmechanisme. (Tempcolec, 2018)</p>
 <p>Figuur 114 Teco transformator Bron: eigen werk</p>	<p>Teco transformator</p> <p>Spanning: van 230 V naar 24 V</p> <p>Mogelijke opties:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 230V naar 24 V</li> <li>- 230V naar 12 V</li> </ul> <p>Referentienummer: Z7-TRG/24</p> <p>In het schaalmodel: één aanwezig van 230 V naar 24 V (Teconex, 2018)</p>

## 11.2 Vertragsmechanisme

 <p>Figuur 115 Dold tijdcontactor Bron: Dold (2018)</p>	<p>Dold tijdcontactor</p> <p>Spanning: 230 V</p> <p>Tijdsverloop: 0,02 seconden tot 300 uur</p> <p>Referentienummer: IK7817N.81/200</p> <p>In het schaalmodel: één aanwezig in de elektriciteitskast; één aanwezig in het vertragsmechanisme.</p> <p>(Tempcolec, 2018)</p>
 <p>Figuur 116 Elektrisch ventiel Bron: eigen werk</p>	<p>Elektrisch ventiel</p> <p>Het elektrisch ventiel bestaat uit drie verschillende onderdelen die op elkaar worden gemonteerd.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Elektrisch ventiel 1/4"</li><li>- Elektrische spoel 24V</li><li>- Elektrische stekker</li></ul> <p>In het schaalmodel: één aanwezig</p> <p>Deze onderdelen worden verdeeld door een winkel gespecialiseerd in pneumatiek en luchtsturing.</p>
 <p>Figuur 117 Druksensor Bron: eigen werk</p>	<p>Elektrische druksensor</p> <p>Spanning: 24 V</p> <p>Grootte: 1/4"</p> <p>Druk: één tot tien bar</p> <p>In het schaalmodel: één aanwezig</p>

### 11.3 Overige onderdelen



Figuur 118 Kogelkraan  
Bron: eigen werk

Kogelkraan

Maximale druk: 400 bar

Diameter persluchtbuis: 8 mm

In het schaalmodel: twee aanwezig in het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel



Figuur 119 Bernstein drukschakelaar  
Bron: eigen werk

Bernstein drukschakelaar

Maximale spanning: 500 V

Maximale stroom: 10 A

In het schaalmodel:

- één aanwezig in het CO<sub>2</sub> bedieningspaneel
- één aanwezig nabij het verdeelstuk

Referentienummer: I88 U1Z W PG11



Figuur 120 Wika manometer  
Bron: eigen werk

Wika manometer

Drukgebied: nul tot 15 bar

Referentienummer: EN 837-1

In het schaalmodel:

- In het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel, diameter van de aansluiting 8 mm
- Op het verdeelstuk, diameter van de aansluiting 1/2".



Figuur 121 Overdrukventiel  
Bron: eigen werk

Overdrukventiel

Druk van de veiligheid: 10 bar

In het schaalmodel: op het verdeelstuk



Figuur 122 Omal pneumatische actuator  
Bron: eigen werk

Om al pneumatische actuator

Maximale druk op de klep: 8,4 bar

Draairichting: tegen de klok in

Draaihoek: 90°

Referentienummer: DA180 – F05 – F07

In het schaalmodel: één aanwezig op het verdeelstuk  
(Om al, 2018)



Figuur 123 Schneider contactblok, normally open  
Bron: Schneider electric (2018)

Schneider contactblok

Functie: *normally open*

Spanning: 230 V

Referentienummer: ZEN-L1111

In het schaalmodel: drie aanwezig voor het functioneren van de drukknoppen  
(Schneider, 2018)



Figuur 124 Schneider contactblok, normally closed  
Bron: Schneider electric (2018)

Schneider contactblok

Functie: *normally closed*

Spanning: 230 V

Referentienummer: ZEN-L1121

In het schaalmodel: twee aanwezig bij de drukknoppen en de noodstop  
(Schneider, 2018)

 <p>Figuur 125 Ventomatic ventilator Bron: eigen werk</p>	<p>Ventomatic ventilator</p> <p>Type: axiaal ventilator</p> <p>Spanning: 230 V</p> <p>Referentienummer: ventomatic 4VGC250</p> <p>In het schaalmodel: in de machinekamer (Ventomatic, 2018)</p>
 <p>Figuur 126 Wika drukverminderventiel Bron: eigen werk</p>	<p>Wika drukverminderventiel</p> <p>Ingestelde druk: 3 bar</p> <p>Maximale druk: 10 bar</p> <p>In het schaalmodel: één aanwezig</p>
 <p>Figuur 127 Schneider lampentoren Bron: Schneider electric (2018)</p>	<p>Schneider lampentoren</p> <p>Spanning: 230 V</p> <p>Kleuren: oranje + rood</p> <p>Referentienummer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rood: XVBC2M4</li> <li>- Oranje: XVBC2M5</li> </ul> <p>In het schaalmodel: lampentoren aanwezig in de machinekamer (Schneider, 2018)</p>
 <p>Figuur 128 BTicino audioalarm Bron: eigen werk</p>	<p>BTicino audioalarm</p> <p>Spanning: 230 V</p> <p>Geluiden: zoemer + bel</p> <p>Referentienummer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zoemer Light: N4356/230</li> <li>- Bel Light: N4351/230</li> </ul> <p>In het schaalmodel: één alarmdoos aanwezig in de machinekamer. (BTicino, 2018)</p>

## Besluit

CO<sub>2</sub> is een effectief blusmiddel. Zowel het gebruik van CO<sub>2</sub> in brandblussers als in vaste blussystemen heeft zijn nut reeds bewezen. Maar het gebruik van CO<sub>2</sub> als blusmiddel brengt de nodige gevaren met zich mee. Daarom is het belangrijk om de juiste toepassingsgebieden van het blusmiddel te kennen. Ook het volgen van de veiligheidsvoorschriften en de juiste omgang met het blusmiddel zal tot een betere en effectievere brandbestrijding leiden aan boord.

Ondanks dat vaste CO<sub>2</sub>-blussystemen geruime tijd aan boord worden gebruikt, komen er nog steeds te veel ongevallen voor door een foutieve constructie of het foutief gebruik ervan. Deze elementen kwamen sterk naar voor uit de behandelde ongevallenanalyses in verband met CO<sub>2</sub>-blussystemen. Ondanks de veranderende context van elk ongeval en de verscheidenheid van de aanwezige fouten, kon de oorzaak grotendeels naar hetzelfde worden herleid, zijnde een gebrek aan training, opleiding en kennis van het systeem.

Na het nodige onderzoekwerk omtrent de voorgeschreven vereisten en specificaties van deze vaste CO<sub>2</sub>-blussystemen zijn we erin geslaagd om een schaalmodel te bouwen dat zo dicht mogelijk aanleunt bij de realiteit. Een aantal van de geïnstalleerde onderdelen, werden reeds aan boord gebruikt. Het schaalmodel functioneert naar behoren en kan tijdens de lessen gebruikt worden. Het volgen van de bijgevoegde instructies en stappenplannen is van groot belang om het schaalmodel correct en veilig te kunnen gebruiken.

Tijdens de testlessen die georganiseerd werden, werd de werking van een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem uitgelegd aan studenten en gedemonstreerd aan de hand van het schaalmodel. Nadat het systeem geactiveerd werd door een medestudent en het volledige activeringsproces doorlopen werd, was de feedback positief. De studenten begrepen de werking en het nut van een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem aan boord.

De bouw van het schaalmodel van een vast CO<sub>2</sub>-blussysteem en het opstellen van het lessenkompakket omtrent het gebruik ervan, bleek een meerwaarde te zijn en zal naar de toekomst toe bijdragen tot de veiligheid aan boord. De studenten, zijnde toekomstige officieren die in hun latere carrière te maken kunnen krijgen met branden aan boord, zullen omwille van hun kennis omtrent deze vaste CO<sub>2</sub>-blussystemen de kans op een succesvolle brandbestrijding vergroten.

## Bibliografie

- Air Liquide. (2016, december 15). Carbon dioxide. Geraadpleegd 6 april 2017, van <https://encyclopedia.airliquide.com/carbon-dioxide>
- Air Products. (2016, maart). Safety Data Sheet: Carbon dioxide. Air Products. Geraadpleegd 7 mei 2017, van <http://www.airproductsafrica.co.za/Downloads/MSDS/Carbon%20Dioxide.pdf>
- American Bureau of Shipping. (2017, januari). Guidance notes on fire-fighting systems. ABS. Geraadpleegd 6 mei 2017, van [https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/141\\_FireFightingSystems/Pub141\\_FireFighting](https://www.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/141_FireFightingSystems/Pub141_FireFighting)
- Ansul. (z.d.). CO<sub>2</sub> blusgassystemen - ANSUL. Geraadpleegd 18 april 2017, van <http://www.ansul.nl/Veiligheid/Blussystemen/Op--en-overslag/CO2-blusgas/>
- Biesot Joop. (2016, december 22). Bezoek UniService Belgium.
- Brady Co, R. J. (1994). Marine fire prevention, firefighting and fire safety. United States of America: A Prentice Hall publishing.
- BTicino. (2018). Audio alarm van BTicino. Geraadpleegd 7 april 2018, van <https://www.ecatalog.be/nl>
- Bulkcarrier Guide. (2010). Fixed CO<sub>2</sub> & HALON Installation for cargo ships. Geraadpleegd 4 mei 2017, van <http://bulkcarrierguide.com/fixed-fire-fighting-systems.html>
- CO<sub>2</sub> Flooding System - Fixed Fire Fighting on Ships. (2015, oktober 25). Geraadpleegd 8 mei 2017, van <http://marineengineeringonline.com/co2-flooding-system-on-ships/>
- Corbett, G. (2009). Fire engineering's handbook for firefighters I & II. United States of America: PennWell corporation.
- Couttie, B. (2010, mei 10). Are your CO<sub>2</sub> safety pins unsafe? Geraadpleegd 21 april 2017, van <http://maritimeaccident.org/2010/05/are-your-co2-safety-pins-unsafe/>
- Cowley, J. (2002). Fire Safety at Sea (Vol. 5). London: IMarEST.
- Danfoss-Semco. (2013). Low-Pressure CO<sub>2</sub> Fire Extinguishing Systems. Geraadpleegd 4 mei 2017, van <http://www.artidenizcilik.com/Upload/Dokumanlar/482015172734386.pdf>

Danfoss-Semco (2016). CO<sub>2</sub> High Pressure System. Geraadpleegd 5 mei 2017, van <http://danfoss.ipapercms.dk/DanfossSemco/Marine/CO2highpressuresystem/Accessible.aspx>

Danish Maritime Accident Investigation Board. (2016). CAROLINE MÆRSK - Fire in containers on 26 August 2015 (Accident report) (p. 28). Denmark: Danish maritime accident investigation board. Geraadpleegd 2 mei 2017, van <http://www.dmaib.com/Ulykkesrapporter/CAROLINE%20M%C3%86RSK%20-%20Fire%20in%20containers%20on%2026%20August%202015.pdf>

De Gryze, J. (1998). Vaste Brandblusinstallaties met CO<sub>2</sub>. Hogere Zeevaartschool Antwerpen, Antwerpen.

De Merck manual. (2003, februari). MSD Privacy Statement [medische encyclopedie]. Geraadpleegd 18 april 2017, van <http://www.merckmanual.nl/mmhenl/sec12/ch159/ch159b.html>

Det Norske Veritas. (2001, januari). Fire safety. Det Norske Veritas. Geraadpleegd 18 mei 2018, van <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/ruleship/2001-01/ts410.pdf>

Dold. (2018). Tijdsrelais dold. Geraadpleegd 7 april 2018, van <https://en.dold.com/products/index.html>

Dr. James Cowley. (2002). Fire Safety at Sea (Vol. Part 5). London, U.K.: Imarest Publications.

EIGA. (2003). Campaign against asphyxiation. European Industrial Gases Association. Geraadpleegd 6 april 2017, van [http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Campaign%20against%20asphyxiation17\\_13907.pdf?v=1.0](http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Campaign%20against%20asphyxiation17_13907.pdf?v=1.0)

Federal bureau of Maritime Casualty investigation. (2014). Fire and explosion on board the MSC Flaminia. (Investigation report No. 255/12) (p. 181). Germany: Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung. Geraadpleegd 2 mei 2017, van [http://www.bsu-bund.de/SharedDocs/pdf/EN/Investigation\\_Report/2014/Investigation\\_Report\\_255\\_12.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bsu-bund.de/SharedDocs/pdf/EN/Investigation_Report/2014/Investigation_Report_255_12.pdf?__blob=publicationFile)



Fire Dampers and Smoke Dampers: The Difference is Important - ProQuest. (z.d.).  
Geraadpleegd 15 mei 2017, van  
<http://search.proquest.com/openview/c1459d73e34002cb32e0179abf44943e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=41118>

General Cargo Ship. (2010). CO<sub>2</sub> fire extinguishing installations for cargo ship machinery spaces. Geraadpleegd 4 mei 2017, van <http://generalcargoship.com/CO2-fire-extinguishing-installation.html>

Häger. (2018). Häger e-catalogus. Geraadpleegd 7 april 2018, van  
<http://www.hager.be/producten-e-catalogus/9787.htm>

HSDB. (2015, oktober 19). HSDB - Carbon Dioxide. Hazardous Substances Data Bank. Geraadpleegd 15 mei 2017, van <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/r?dbs+hsdb:@term+@rn+124-38-9>

IFSTA. (2001). Marine Fire Fighting for Land-Based Firefighters (1ste dr.). International Fire Service Training Association.

IMO. (2010). IMO Code on Alerts and Indicators, 2009. IMO.

IMO. (2016). Regs4ships: International Code for Fire Safety Systems (FSS Code).

IMO. (2017, januari 1). SOLAS. International Maritime Organisation.

ISO. (1982). ISO 2412 Shipbuilding - Colours of Indicator Lights. ISO. Geraadpleegd 9 mei 2017, van <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNV/statutoryinterpretations/2013-09/StatutoryInterpretations.pdf>

Kleine blusmiddelen - brandweer Zandhoven. (z.d.). Geraadpleegd 18 april 2017, van  
<http://www.brandweertzandhoven.be/kleine-blusmiddelen>

Langford, N. (2005). Carbon dioxide poisoning. West Midlands Poisons Unit. Geraadpleegd 15 mei 2017, van <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16499405>

Leung, H. K. (2005). A Routine Inspection of the Fixed CO<sub>2</sub> Fire Extinguishing System that led to the Death of Four Officers! Marine Department, Hong Kong Special Administrative Region. Geraadpleegd 26 april 2017 van  
<http://www.dieselduck.info/machine/06%20safety/2004%20Fixed%20CO2%20accident.pdf>

Linde AG. (z.d.). Safety\_Advice\_12303\_25938.pdf. Geraadpleegd 16 november 2016, van [http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/en/images/Safety\\_Advice\\_12303\\_25938.pdf?v=2.0](http://www.linde-gas.pt/internet.lg.lg.prt/en/images/Safety_Advice_12303_25938.pdf?v=2.0)

Marine Accident Investigation Branch. (2014). Report on the investigation of the fire on the main deck of the ro-ro cargo ferry Corona Seaways in the Kattegat, Scandinavia on 4 December 2013 (Accident report No. 17/2014) (p. 39). United Kingdom: Marine Accident Investigation Branch.

Mets, B., Davidson, O., De Coninck, H., Loos, M., & Leo Meyer. (2005). IPCC Special report on Carbon Dioxide Capture and Storage (Vol. Working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change). New York: Cambridge University Press. Geraadpleegd 2 mei 2017, van [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs\\_wholereport.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf)

Mohit, K. (2017, maart 17). 8 Mistakes You Should Never Make While Handling CO2 Fire Fighting System. Geraadpleegd 2 mei 2017, van <http://www.marineinsight.com/?p=46616>

Omal. (2018). Pneumatische actuator. Geraadpleegd 7 april 2018, van <http://www.omal.it/eng/Products>

PGS. (2014, april). PGS 9: Cyrogene gassen opslag van 0.125 m<sup>3</sup> - 100 m<sup>3</sup>. Publicatierreeks gevaarlijke stoffen.

Samotra, A. (2016, juli 21). 12 Things You Must Do Before Operating Ship's CO2 Fire Extinguishing System. Geraadpleegd 16 november 2016, van <http://www.marineinsight.com/guidelines/12-must-do-things-before-operating-co2-fire-extinguishing-system-for-engine-room-fire/>

Schneider. (2018). Schneider contactblokken. Geraadpleegd 7 april 2018, van <https://www.schneider-electric.be/nl/all-products>

Schneider Electric. (z.d.). Tijdsrelais. Schneider Electric. Geraadpleegd 4 april 2018, van <https://www.schneider-electric.be/documents/schematheque/32NI006N.pdf>

Schrack Technik. (z.d.). Contactoren Schrack Technik. Geraadpleegd 4 april 2018, van <https://www.schrack.be/know-how/industrietechniek/contactoren/>

Skaggs R, S. (1998, mei 12). Examining the risk of carbon dioxide as a fire suppressant. Geraadpleegd 19 april 2017, van [https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/fire\\_research/R0000286.pdf](https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/fire_research/R0000286.pdf)

Teconex. (2018). Transformator Z7-TRG/24. Geraadpleegd 7 april 2018, van <https://teconex.catbuilder.info/catalogs/cat.asp?cat=cat00&language=nl>

Tempolec. (2018). Tijdsrelais IK7817N. Geraadpleegd 7 april 2018, van <https://www.tempolec.com/nl/produit/201/ik7817n.81-200>

The Nautical Institute. (2010). False E/R CO<sub>2</sub> flooding alarm. Geraadpleegd 16 november 2016, van <http://www.nautinst.org/en/forums/mars/mars-2010.cfm/201052>

Transportation Safety Board of Canada. (2003). Engine room fire and subsequent failure of the CO<sub>2</sub> distribution manifold - Queen of Surrey (Investigation report No. M03W0073) (p. 57). Canada: Minister of Public Work and Government Services 2006.

Tyco Seaplus. (2014). Marine Fire Fighting system. Tyco Marine Services.

United States Coast Guard. (2012, november 12). Marine safety alert: Accidental release of CO<sub>2</sub> system! United States Coastguard. Geraadpleegd 26 april 2017 van <http://maritimeaccident.org/http://maritimeaccident.org/wp-content/uploads/2015/01/co2.pdf>

Van Dokkum Klaas. (2011). Ship Knowledge. Enkhuizen: DOKMAR Maritime Publishers B.V.

VEBON-NOVB, & VIVB. (2015). Specifieke Veiligheids Informatie (SVI): Brandblus en brandpreventie installaties. VEBON-NOVB.

Ventomatic. (2018). Axiaal ventilator. Geraadpleegd 7 april 2018, van <http://www.ventomatic.com/nl/producten/industrie/>

Verstraelen, H. (2014, september). Safety: Firefighting.

# Bijlagen

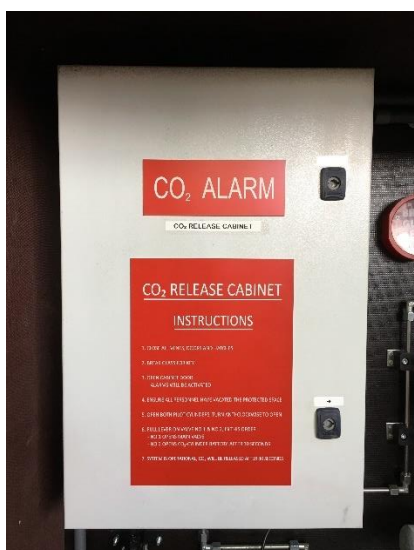
## Lijst van bijlagen

Bijlage 1: foto's van verschillende onderdelen.....114

Bijlage 2: handleiding Dold tijdcontactor IK7817N.81/200.....119

## Bijlagen

### Bijlage 1: foto's van verschillende onderdelen



Figuur B1 CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel  
Bron: eigen werk



Figuur B2 Drukschakelaar voor in het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel  
Bron: eigen werk



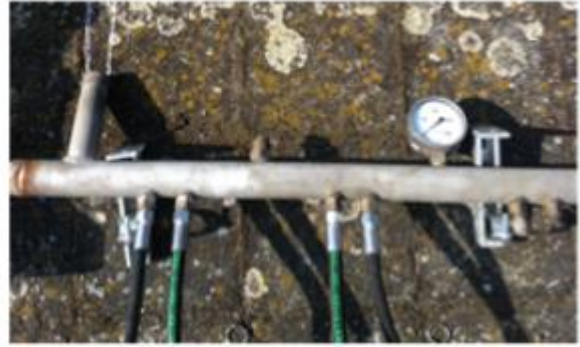
Figuur B3 Vier CO<sub>2</sub>-cilinders met kleppen  
Bron: eigen werk



Figuur B4 CO<sub>2</sub> cilinder met opschrift  
Bron: eigen werk



Figuur B5 Flexibele perslucht slang  
Bron: eigen werk



Figuur B6 verdeelstuk met 4 terugslagkleppen, manometer en aansluiting voor pneumatische drukschakelaar  
Bron: eigen werk



Figuur B7 Pneumatische drukschakelaar  
Bron: eigen werk



Figuur B8 Hoofdklep + actuator  
Bron: eigen werk



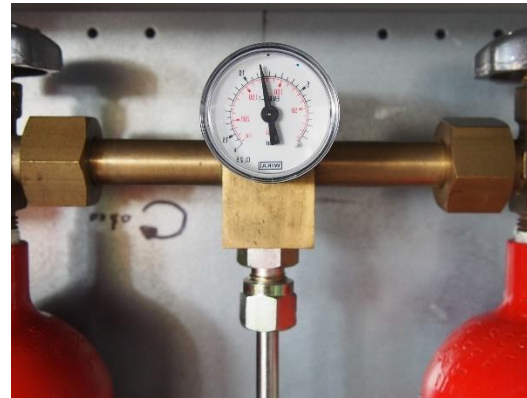
Figuur B9 Sleuteldoosje met breekbaar glas en sleutel  
Bron: eigen werk



Figuur B10 Audio en visueel alarm  
Bron: eigen werk



Figuur B11 Twee startcilinders met draiventiel geplaatst in het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel  
Bron: eigen werk



Figuur B12 T-stuk met manometer  
Bron: eigen werk



Figuur B13 T-stuk voor koperen pijpleidingen  
Bron: Tyco Seaplus (2014)



Figuur B14 Vertragingmechanisme  
Bron: eigen werk

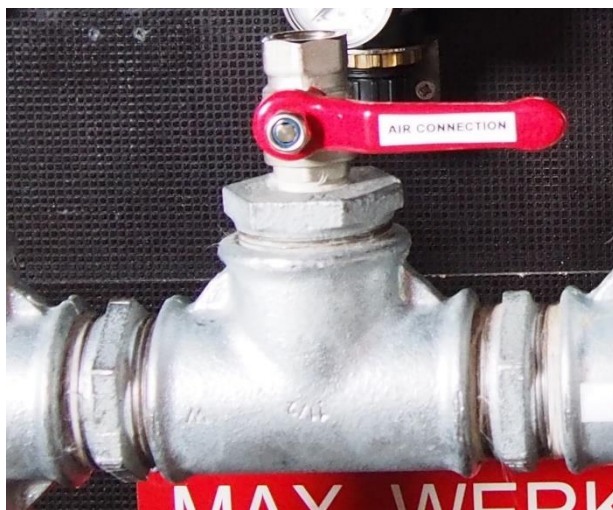




Figuur B15 Bypass valve  
Bron: eigen werk



Figuur B16 Sluitschroef op de laatste CO<sub>2</sub>-cilinder  
Bron: Tyco Seaplus (2014)



Figuur B17 Luchtaansluitingsklep  
Bron: eigen werk



Figuur B18 verlosklep  
Bron: eigen werk



Figuur B19 Koperen pijpleidingen in en vanuit het CO<sub>2</sub>-bedieningspaneel  
Bron: Tyco Seaplus (2014)



Figuur B20 CO<sub>2</sub>-spuitmond  
Bron: eigen werk



Figuur B21 Branddemper  
Bron: eigen werk



## Bijlage 2: handleiding Dold tijdcontactor IK7817N.81/200

024153

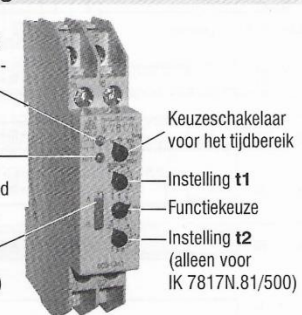
DOLD

---

Multifunctionele tijdrelais

<b>IK 7817N.81/200</b>	1 tijdinstelling, geen afstandsinstelling mogelijk
<b>IK 7817N.81/500</b>	2 tijdinstellingen, 1 afstandsinstelling mogelijk

### Beschrijving



De **groene LED** licht bij spanningsaansluiting

De **gele LED** meldt het verloop van de vertraging en de schakelstand

Schakelaar **S1** (alleen voor IK 7817N.81/500)

Keuzeschakelaar voor het tijdbereik


Instelling **t1**

Functiekeuze

Instelling **t2** (alleen voor IK 7817N.81/500)

---

### IK 7817N.81/200



- Overeenkomstig de norm DIN EN 61 812-1
- 8 functies instelbaar via keuzeschakelaar:
  - inschakelvertraging (AV)
  - impulscontact bij inschakeling (EW)
  - vertraagde impuls (IE)
  - knipperfunctie startend met impuls (BI)
  - uitschakelvertraging (AV)
  - impulsvormer (IF)
  - impulscontact bij uitschakeling (AW)
  - in- en uitschakelvertraging (AV/RV)
- 8 tijdbereiken van 0,02 s tot 300 h
- Voedingsspanning: 12 tot 240 V AC/DC
- Mogelijkheid tot onderbreking of herstart van een vertragingstijd
- Sturing mogelijk via 2-draads nabijheidsdetector
- 1 wisselcontact
- 2 LED-weergaven voor de spanningsvoorziening, de schakelstand en de actieve vertraging
- Breedte: 17,5 mm.

### Groene LED

licht als het relais onder spanning staat.


### Gele LED

duidt de schakelstand en de actieve vertragingstijd aan:

- gedoofd: relais uitgeschakeld, geen actieve vertraging
- verlicht: relais ingeschakeld, geen actieve vertraging
- knipperend (kort ON/lang OFF): relais uitgeschakeld, vertraging actief
- knipperend (lang ON/kort OFF): relais ingeschakeld, vertraging actief.

---

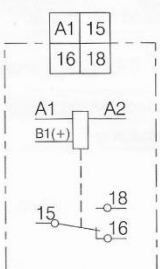
### IK 7817N.81/500



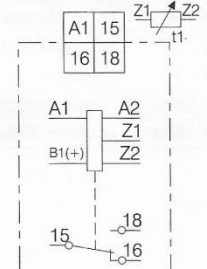
Idem IK 7817N.81/200 maar:

- 2 bijkomende functies:
  - sequentie startend met de pauze (TP)
  - impulscontact bij in- en uitschakeling (EW/AW)
- met tweede tijdinstelling voor de functies TI (in plaats van BI), TP, EW/AV, AV/RV en IE
- aansluitmogelijkheid van een externe potentiometer voor een afstandsbetiening van de vertragingstijd t1.

### Elektrische schema's



**IK 7817N.81/200**



**IK 7817N.81/500**

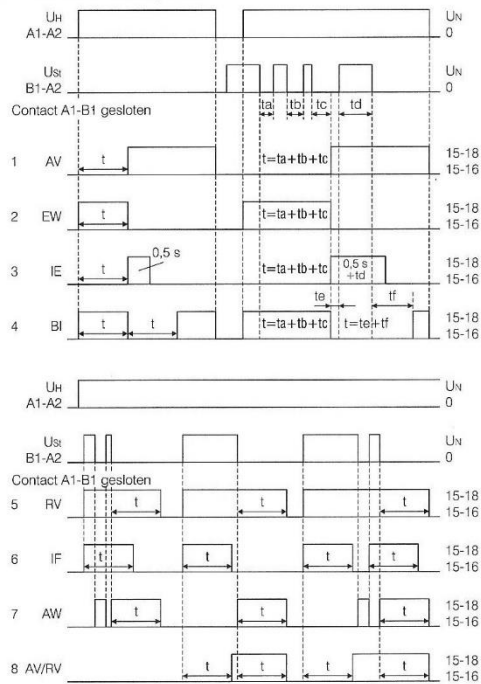
---

[www.tempolec.be](http://www.tempolec.be)

NL

## Functionele diagrammen

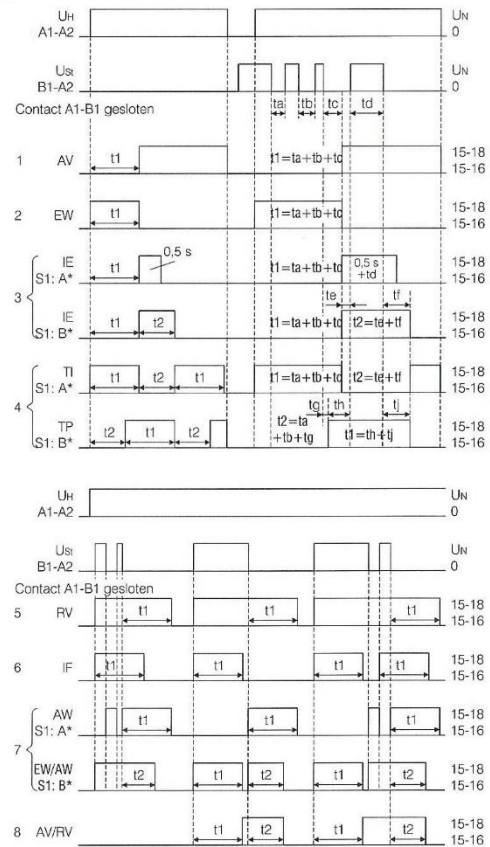
### IK 7817N.81/200



1 tot 8: stand van de keuzeschakelaar

1	AV	inschakelvertraging
2	EW	impulscontact bij inschakeling
3	IE	vertraagde impuls
4	BI	knipperfunctie startend met impuls
5	RV	uitschakelvertraging
6	IF	impulsvormer
7	AW	impulscontact bij uitschakeling
8	AV/RV	in- en uitschakelvertraging

### IK 7817N.81/500



1 tot 8: stand van de keuzeschakelaar

A en B: standen van de schakelaar S1

1	AV	inschakelvertraging
2	EW	impulscontact bij inschakeling
3	IE	vertraagde impuls S1 in stand A: $t_1$ instelbaar, $t_2$ vast 0,5 s S1 in stand B: $t_1$ en $t_2$ zijn instelbaar
4	TI/TP	sequentiesturing S1 in stand A: start met een impuls S1 in stand B: start met de pauze
5	RV	uitschakelvertraging
6	IF	impulsvormer
7	AW	impulscontact bij uitschakeling, S1 in stand A
	EW/AW	impulscontact bij in- en uitschakeling, S1 in stand B
8	AV/RV	in- en uitschakelvertraging



## Werking

### Ondersteunde instelling

De gele LED knippert aan een frequentie van 1 Hz  $\pm$  4 % en kan gebruikt worden voor het bepalen van de ingestelde vertragingstijd daar de vermenigvuldigingscoëfficiënten van de verschillende instelbereiken uiterst nauwkeurig zijn.

**VOORBEELD:** de fijninstelling van een vertragingstijd van 40 minuten binnen een bereik van 3 tot 300 min duurt nogal lang daar men één of meerdere malen 40 min moet wachten om een eventuele correctie uit te voeren. Bij gebruik van een kleiner instelbereik (bv. 0,03 tot 3 min), zal de vertragingstijd 100 maal sneller gebeuren. Dit betekent dat wanneer de diode 24 maal knippert (= 24 s) binnen een bereik van 3 minuten, men automatisch een vertragingstijd van 2400 s of 40 minuten verkrijgt binnen een bereik van 300 minuten.

### Onderbreking van vertragingstijd en tijd-optelling

Bij de functies AV, EW, IE en BI (TI/TP) kan de actieve vertragingstijd tijdelijk onderbroken worden door de spanning toe te passen op de ingang B1(+). Wanneer B1 weer spanningsloos is, wordt de vertragingstijd gestart vanaf de laatste toestand.

### Stuuringang B1(+)

De functies RV, IF, AW, AV/RV worden bekrachtigd via de spanning toegepast op de klem B1(+). Deze spanning kan dezelfde zijn als deze die wordt toegepast op klem A1 of van een willekeurige waarde zijn gelegen tussen 12 en 240 V AC of DC in verhouding tot de op A2 toegepaste spanning. De inschakeling van een belasting parallel met B1/A2 is eveneens mogelijk.

Met de functie IF wordt gedurende de ingestelde tijd een impuls opgewekt wanneer de klemmen A1 en B1 gelijk- tijdig onder spanning worden gezet (b.v. na een spanningsuitval). Als deze functie niet gewenst is, zal men de variant IK 7817N.81/500 met de schakelaar S1 in stand B toepassen. Zo kan het relais een onderscheid maken tussen een sturing op B1 en een onderspanningstelling na een spanningsuitval.

### Afstandsbediening via potentiometers

Bij de variant IK 7817N.81/500 kan men de tijdsduur van de vertraging t1 instellen met een 10 k $\Omega$ -potentiometer via een afstandsbediening aangesloten op de klemmen Z1-Z2. Bij aansluiting van een externe potentiometer, wordt de ingebouwde potentiometer gewoonlijk ingesteld op een minimumwaarde (zoniet worden de 2 tijden opgeteld).

Indien daarentegen geen externe potentiometer aangesloten is, moeten de klemmen Z1-Z2 worden overbrugd. De kabel van de klemmen Z1-Z2 moet gescheiden zijn van de kabels met 230 V AC-spanning. Anders een afgeschermd kabel gebruiken waarvan de afscherming wordt aangesloten op Z1.

### Bijkomende functie

Bij de variant IK 7817N.81/500 kunnen de functies 3, 4 en 7 gewijzigd worden door de schakelaar S1 op stand B in te stellen. Een vertraging t2, met hetzelfde instelbereik als t1, kan door de laagste potentiometer ingesteld worden.

## Technische gegevens

### Voeding

Nominale spanning U <sub>N</sub>	12 – 240 V AC/DC
Spanningsbereik	80 – 110 % U <sub>N</sub>
Uitschakelspanning (A1-A2)	7,5 V AC 50 Hz; 7 V DC
Toegelaten reststroom voor kring A1-A2 in geval van sturing via een 2-draads nabijheidsdetector	tot 150 V AC/DC: 5 mA tot 264 V AC/DC: 3 mA
Stuurstroom B1	ca. 1 mA
Minimum ON/OFF-tijd van ingang B1	AC: 15 ms/60 ms DC: 5 ms/60 ms
Uitschakelspanning (B1-A2)	1,5 V AC 50 Hz/4 V DC
Nominaal verbruik	1,5 VA/12 V AC 2 VA/24 V AC 3 VA/240 V AC 1 W/DC
Nominale frequentie	45 – 400 Hz

### Vertragingstijd

Tijdbereiken	0,02 – 1 s	0,3 – 30 min
	0,06 – 6 s	3 – 300 min
	0,3 – 30 s	0,3 – 30 h
	0,03 – 3 min	3 – 300 h
Instelling	via 1 of 2 potentiometers op relatieve schaal met instelverhouding 1:100	
Temperatuurinvloed	< 1 %	
Spanningsinvloed	< 1 %	
Afwijking	$\pm$ 0,5 % van het bereik + 20 ms	
Terugsteltijd	15 ms/24 V DC	
	50 ms/240 V DC	
	80 ms/230 V AC	





## Contacten

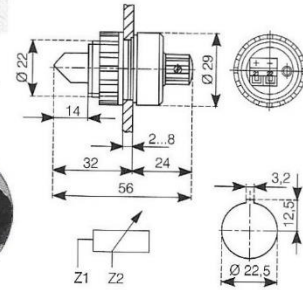
Type	1 wisselcontact
Thermische stroom I <sub>th</sub>	1 x 4 A
Schakelvermogen volgens AC 15	volgens EN 60 947-5-1 3 A/230 V AC voor NO-contact, 1 A/230 V AC voor NG-contact
volgens DC 13	1 A/24 V DC
Elektrische levensduur volgens AC 15	1,5 x 10 <sup>5</sup> schakelingen bij een belasting van 1 A/230 V AC
Kortsluitbeveiliging/ max. smeltveiligheid	4 AgL EN 60 947-5-1
Mechanische levensduur	≥ 30 x 10 <sup>6</sup>

## Andere gegevens

Nominaal bedrijf	permanent
Temperatuurbereik	-40 tot +60 °C
Kortsluitvastheid/kruiplijn, referentiespanning/vervuilingsgraad	4 kV/2 IEC 60 664-1
Elektromagnetische storingsfactor	
statische belasting (lucht)	8 kV EN 61 000-4-2
snelle overgang	2 kV EN 61 000-4-4
stootspanning (surge)	
- tussen voedingsdraden	1 kV EN 61 000-4-5
- tussen voeding en aarde	2 kV EN 61 000-4-5
HF-sigitaal	10 V EN 61 000-4-6
Beschermingsfactor	
behuizing	IP 40 EN 60 529
klemmenstrook	IP 20 EN 60 529
Materiaal van behuizing	zelfdovende thermoplast, V0-gedrag volgens UL 94
Trillingsvastheid	amplitude 0,35 mm frequentie 10 tot 55 Hz EN 60 068-2-6
Klimaatvastheid	40/060/04 EN 60 068-1
Klemmenopstelling	EN 50 005
Aansluiting	schroefklemmen 2 x 2,5 mm <sup>2</sup> massief of 2 x 1,5 mm <sup>2</sup> met kabelschoen DIN 46 228-1/-2/-3
Montage	op DIN-rail EN 50 022
Nettogewicht	65 g
Afmetingen	17,5 x 90 x 59 mm

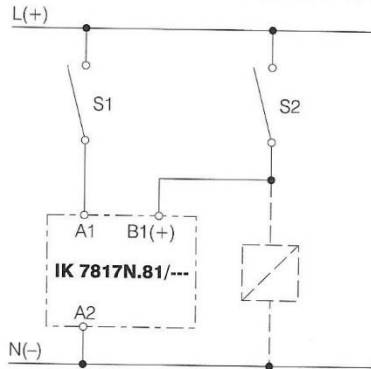
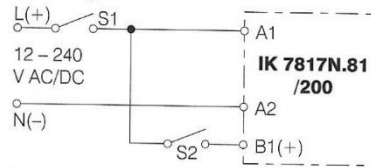
## Toebehoren

Potentiometer voor afstandsbediening  
**AD3 10 kΩ**

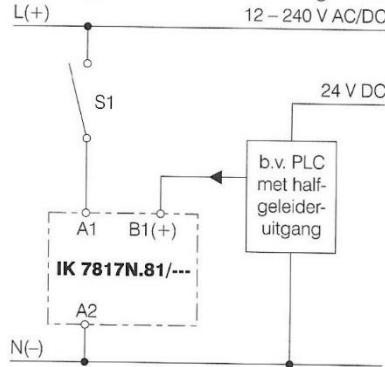


## Aansluitvoorbeelden

Sturing met parallel aan B1/A2 geschakelde belasting



Sturing via een spanning die verschilt van de spanning A1-A2, bv. PLC met halfgeleideruitgang



**tempolec**

B-6530 THUIN | Route de Blesme 49 | TEL 071 59 00 39 | FAX 071 59 01 61 |  
info@tempolec.be | www.tempolec.be

Wijzigingen voorbehouden | Ip. 04-12-2013

