



**HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN**  
**ONDERWIJSEENHEID 5 - EXACTE WETENSCHAPPEN EN INFORMATICA**



**VON KARMAN INSTITUTE FOR FLUID DYNAMICS**

# Onderzoek naar toxische dampen aan boord van chemicaliëntankers

## Windtunneltesten met eigen gemaakt schaalmodel

Laurent De Kerf

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

Promotoren:  
Carine Reynaerts (HZS)  
Werner Jacobs (HZS)  
Philippe Planquart (VKI)  
Jeroen Van Beeck (VKI)

Academie jaar: 2008 - 2009





HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN  
ONDERWIJSEENHEID 5 - EXACTE WETENSCHAPPEN EN INFORMATICA



VON KARMAN INSTITUTE FOR FLUID DYNAMICS

# Onderzoek naar toxische dampen aan boord van chemicaliëntankers

## Windtunneltesten met eigen gemaakt schaalmodel

Laurent De Kerf

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

Promotoren:  
Carine Reynaerts (HZS)  
Werner Jacobs (HZS)  
Philippe Planquart (VKI)  
Jeroen Van Beeck (VKI)

Academie jaar: 2008 - 2009

## Woord vooraf

Het onderzoek naar de verspreiding van toxische dampen aan boord van chemicaliëntankers gedurende de normale operaties wordt in deze masterproef beschreven voor wat het deel met betrekking tot de windtunneltesten betreft. Ten behoeve van deze studie werd een schaalmodel van de tanker gebouwd dat in de windtunnel L1-B van het von Karman Instituut aan een reeks testen onderworpen werd.

De tijd die nodig was voor het uitschrijven van dit onderzoek in deze masterscriptie bedroeg maar een klein deel van de tijd die aan het bouwen en aan de testen besteed werd. Toch is dit schriftelijke deel heel belangrijk om een inzicht in de omvang van het onderzoek te verkrijgen.

Verschillende mensen hebben met raad en daad geholpen om dit project tot een goed einde te brengen. Daarom wil ik ondermeer de volgende personen daarvoor hartelijk danken: mevrouwen Carine Reynaerts, Bie Van Deun en Eva Floren en de heren Werner Jacobs, Peter Bueken, Jacques Missart, Istvan Horvarth, Jeroen Van Beeck en Philippe Planquart.



# Inhoudstafel

WOORD VOORAF.....	IV
INHOUDSTAFEL .....	V
LIJST VAN FIGUREN.....	IX
LIJST VAN FOTO'S.....	XII
LIJST VAN TABELLEN .....	XIII
VERKLARENDE WOORDENLIJST .....	XIV
INLEIDING .....	1
<b>DEEL 1: HET BOUWEN VAN HET MODEL.....</b>	<b>3</b>
HOOFDSTUK 1: HET BEGIN VAN HET PROJECT.....	3
1.1 <i>Het von Karman Instituut (VKI)</i> .....	3
1.1.1 Geschiedenis van het von Karman Instituut.....	3
1.1.2 Verschillende werkactiviteiten van het von Karman Instituut.....	3
1.1.3 Contactpersoon en het eerste bezoek.....	5
1.2 <i>De Crystal Emerald</i> .....	6
1.3 <i>De vragen bij de start</i> .....	7
1.3.1 De keuze van de verontreinigende stof .....	7
1.3.2 De keuze van de analysemethode van de verontreinigende stof .....	7
1.3.3 De keuze van de bouwtechniek.....	8
1.3.4 De keuze van de schaal.....	9
1.3.5 De nodige plannen .....	10
HOOFDSTUK 2: HET MATERIAAL .....	13
2.1 <i>De Grondstoffen</i> .....	13
2.2 <i>De Werktuigen</i> .....	16
HOOFDSTUK 3: HET BOUWEN VAN DE ROMP .....	19
3.1 <i>Inleiding en kort overzicht van de etappes</i> .....	19
3.2 <i>De etappes van het bouwen</i> .....	20
3.2.1 Verwezenlijking van de spanten .....	20
3.2.2 Plaatsing van de spanten op de kiel.....	21
3.2.3 Plaatsing van de zijdelingse steunplaten van de romp.....	24
3.2.4 Het leggen van de romp.....	28
3.2.5 Epoxysatie en versteviging van het model .....	30
3.2.6 Bijwerken.....	32
3.2.7 De plaatsing van het dek.....	32
HOOFDSTUK 4: HET BOUWEN VAN DE ACCOMMODATIE .....	33
4.1 <i>Inleiding</i> .....	33
4.2 <i>De bouwtechniek</i> .....	33
4.2.1 Basisidee van de bouwtechniek .....	33
4.2.2 Verwezenlijking van de eerste doos .....	35
4.2.3 Aanpassing van de lengte van de eerste doos.....	36
4.2.4 De navigatiebrug en het probleem van de eerste doos .....	37
4.3 <i>Het opnieuw beginnen van de accommodatie</i> .....	37
4.3.1 De ruwbouw.....	38
4.3.1.1 Voorbereiding van het nodige materiaal en korte uitleg over de geprefabriceerde bouwtechniek .....	38
4.3.1.2 Praktische verwezenlijking van de geprefabriceerde bouwtechniek .....	39
4.3.2 Het zwembad .....	40
4.3.3 De schouw .....	41
4.3.4 Het navigatiedek .....	42
4.3.4.1 Eerste bouwtechniek van de “navigatiebrug” .....	42
4.3.4.2 Tweede bouwtechniek van de “navigatiebrug” .....	43
4.3.5 De traphal .....	44
HOOFDSTUK 5: DE DETAILS EN DE AFWERKING VAN HET SCHAALMODEL .....	45
5.1 <i>Inleiding</i> .....	45

5.2 De afwerking .....	46
5.3 De details .....	46
5.3.1 Voorbereidingen van de detailbouw .....	46
5.3.2 De details en het bouwen van de voorpiek .....	47
5.3.2.1 De voorpiek .....	47
5.3.2.2 Details met geëxpandeerd polystyreen .....	48
5.3.2.2 PE-schuim gebouwde details .....	48
5.3.2.3 Details in hout .....	50
5.3.2.3.1 De bolders .....	51
5.3.2.3.2 De ventilatie van de opslagplaats van de verf .....	51
5.3.2.3.3 De ingang van de kettingbak .....	51
5.3.2.3.4 De lichtenmast .....	51
5.3.2.3.5 De draagmasten .....	51
5.3.3 De details van de accommodatie .....	52
5.3.3.1 Details met PE-schuim .....	52
5.3.3.1.1 De stuurpanelen, de "AC inlet" en de doos van het "monkey island" .....	52
5.3.3.1.2 De lieren .....	52
5.3.3.1.3 De "MOB" boot .....	53
5.3.3.1.4 De kraan voor voorraad .....	53
5.3.3.2 Houten details .....	54
5.3.3.2.1 Details rond en op de navigatiebrug .....	54
5.3.3.2.1.1 De "Christmas tree" .....	54
5.3.3.2.1.2 De pet van de "navigatiebrug" .....	55
5.3.3.2.1.3 Het veiligheidshek .....	55
5.3.3.2.2 Rondom de accommodatie .....	56
5.3.3.2.2.1 De trappen .....	56
5.3.3.2.2.2 De draagmast van de vloten .....	57
5.3.3.2.2.3 De steunstructuur van de reddingsboot .....	57
5.3.3.2.2.4 Balsalatten van de accommodatie .....	58
5.3.3.2.3 Op het dek (De bolders) .....	58
5.3.3.3 Details met ander materieel gebouwd .....	58
5.3.3.3.1 De reddingsboot .....	59
5.3.3.3.2 De mangaten van de voorraad .....	59
5.3.3.3.3 De "inmarsat" .....	59
5.3.3.3.4 De top van de schouw .....	59
5.3.4 De dekdetails .....	60
5.3.4.1 Verwezenlijking van de "workshop" .....	61
5.3.4.2 De spanten .....	62
5.3.4.3 De "catwalk" .....	64
5.3.4.4 De bergruimte .....	65
5.3.4.5 Het ventilatiesysteem .....	66
5.3.4.6 Verwezenlijking van de kranen .....	67
5.4 Het verven .....	68
5.4.1 Bescherming en voorbereiding .....	68
5.4.2 Verftechniek .....	69
5.4.3 De keuze van de kleuren en hun kenmerken .....	70
5.5 De laatste werken op het model .....	70
5.5.1 De verwezenlijking van de uitlaten van de dampen .....	70
5.5.2 Het plaatsen van de gecondenseerde PE-schuim onder de Manifold .....	71
<b>DEEL 2: WINDTUNNELS EN TESTEN .....</b>	<b>73</b>
HOOFDSTUK 6: INLEIDING OVER WINDTUNNELS .....	73
6.1 De definitie van een windtunnel .....	73
6.2 Waarom gebruiken we windtunnels? .....	73
6.3 Klasse van windtunnels - Types windtunnels in functie van de windsnelheden .....	74
6.3.1 "Hypersonische windtunnels" - "Hypersonic wind tunnels" .....	75
6.3.2 "Supersonische windtunnels" - "Supersonic windtunnels" .....	76

6.3.3 “Hoge snelheden windtunnels” - “High speed windtunnels” .....	76
6.3.3.1 “Transonische windtunnels” - “Transonic wind tunnels” .....	76
6.3.3.2 “Hoge subsonische windtunnels” - “High subsonic wind tunnels” .....	76
6.3.4 “Lage snelheid windtunnels” - “Low speed windtunnels” .....	77
6.3.4.1 Inleiding over “lage snelheid windtunnels” .....	77
6.3.4.2 “Open of gesloten circuit” en “open of gesloten testsectie” .....	79
6.3.4.2.1 Open circuit .....	79
6.3.4.2.2 Gesloten circuit .....	80
6.3.4.3 L1-B windtunnel van het von Karman Instituut .....	81
6.3.4.3.1 De testsectie .....	82
6.3.4.3.2 De motor .....	82
6.3.4.3.3 De “diffuser” .....	82
6.3.4.3.4 De “corner vanes” .....	82
6.3.4.3.5 “Honeycombs” .....	83
6.3.4.3.6 De “contraction” of “nozzle” .....	83
HOOFDSTUK 7: VOORBEREIDING VAN DE TESTEN IN DE L1-WINDTUNNEL VAN HET VON KARMAN INSTITUUT. ....	84
7.1 Inleiding over de voorbereiding .....	84
7.2 Test en uitleg van de rookgenerator .....	84
7.2.1 Aanmaak en toevoer van de rook .....	85
7.2.2 De temperatuur en de druk van de perslucht van de rookgenerator .....	86
7.2.3 Praktisch gebruik van de generator .....	87
7.3 Uitleg van de visualiseringmethode .....	87
7.3.1 Algemene beschrijving van de visualiseringmethode .....	87
7.3.2 De laser .....	88
7.3.3 De prisma’s .....	89
7.3.4 De oscillerende spiegel .....	90
7.3.5 Procedure voor het starten van de visualisering .....	94
7.4 Plaatsing van het model in de windtunnel .....	94
7.5 Beschrijving van het praktisch gebruik van de L1-windtunnel .....	95
HOOFDSTUK 8: VERWEZENLIJING VAN DE TESTEN IN DE L1-WINDTUNNEL VAN HET VON KARMAN INSTITUUT .....	96
8.1 Inleiding .....	96
8.2 Eerste type testen .....	98
8.2.1 Het cameratoestel .....	98
8.2.2 Het starten van de testen .....	98
8.2.3 Diverse problemen .....	99
8.2.3.1 Kwaliteitsprobleem van de beelden .....	99
8.2.3.2 Probleem rookdebiet .....	100
8.2.3.3 Probleem luchtkwaliteit .....	101
8.3 Tweede type testen .....	101
8.3.1 Overgang van het eerste type testen naar het tweede type testen .....	101
8.3.2 De Pixelfly .....	101
8.3.2.1 Beschrijving van de Pixelfly .....	101
8.3.2.2 Regeling van de Pixelfly .....	102
8.3.2.3 Synchronisatie van de Pixelfly en van de oscillerende spiegel .....	102
8.3.2.4 Praktische verwezenlijking .....	103
8.3.2.4.1 Praktische verwezenlijking door middel van de comparator .....	103
8.3.2.4.2 Praktische verwezenlijking door middel van een tweede pulsgenerator .....	104
8.3.2.5 Camware software .....	106
8.3.2.6 De plaatsing van de camera .....	108
8.3.3 Verandering van rookgenerator .....	109
8.4 Derde type testen .....	110
8.4.1 Verwezenlijking van het gewenste debiet en druk .....	110
8.4.1.1 Het combineren van de doos en van de rookgenerator van het von Karman Instituut .....	110
8.4.1.2 Het combineren van de doos en van de rookgenerator van de Zeevaartschool .....	111
8.4.1.3 Het combineren van de doos en van de twee rookgeneratoren .....	112
8.4.2 Verfijning van de uitlaatsnelheden .....	113
8.5 Vierde type testen .....	114

8.6 Vijfde type testen.....	115
8.6.1 Inleiding over het vijfde type testen.....	115
8.6.2 Praktische verwezenlijking van het vijfde type testen.....	115
8.6.3 Beperkingen van de verplaatsing van de oscillerende spiegel.....	116
8.7 Zesde type testen.....	116
8.7.1 Inleiding over het zesde type testen.....	116
8.7.2 Praktische verwezenlijking van de testen.....	117
8.7.2.1 Rotatie van het model.....	117
8.7.2.2 Regeling van het laservlak.....	117
8.8 Uitleg over het gebruikte logboek.....	118
CONCLUSIE.....	121
BIBLIOGRAFIE.....	123
<i>Geschreven bronnen</i> .....	123
<i>Onlinebronnen</i> .....	123
LIJST VAN BIJLAGEN.....	124

# Lijst van figuren

FIGUUR 1 - VERONDERSTELDE VERSPREIDING VAN DAMPEN AAN BOORD VAN SCHEPEN. ....	2
FIGUUR 2 - OPZUIGINGSMETHODE EN LASER TECHNOLOGIE. ....	8
FIGUREN 3.1, 3.2, 3.3 EN 3.4 - INGESCANDE PLANNEN VAN DE "CRYSTAL EMERALD" .....	10
FIGUREN 4.1 EN 4.2 - PLANNEN VAN DE SPANTEN.....	12
FIGUREN 5.1, 5.2 EN 5.3 - DIVERSE WATERVERPLAATSINGEN. ....	19
FIGUUR 6 - VOLGORDE VAN DE BOUWETAPPES.....	20
FIGUUR 7 - BESCHRIJVING VAN DE METHODE.....	22
FIGUUR 8 - PLAATSING VAN DE KIEL. ....	23
FIGUUR 9 - DE PROBLEMATISCHE SPANTEN.....	27
FIGUUR 10 - BALSALAT MET EEN HOEK VAN 60°. ....	27
FIGUUR 11 - VERLIJMING VAN TWEE BALSAPLANKEN.....	28
FIGUUR 12 - BEVESTIGING VAN EEN EXTRA BALSAPLAAT VOOR DE STUURBOORDZIJDE. ....	30
FIGUUR 13 - PLAN VAN DE ACCOMMODATIE.....	33
FIGUREN 14 EN 15 - VERBEELDING VAN DE EERSTE EN TWEEDE DOOS. ....	34
FIGUREN 16, 17 EN 18 - VERBEELDING VAN DE TWEEDE, DERDE EN VIERDE DOOS.....	35
FIGUUR 19 - COMPONENTEN VAN EEN DOOS.....	35
FIGUUR 20 - AANPASSING VAN DE LENGTE VAN DE EERSTE DOOS. ....	36
FIGUREN 21 EN 22 - NIEUWE PLANNEN VOOR DE ACCOMMODATIE.....	38
FIGUUR 23 - HET ZWEMBAD. ....	40
FIGUUR 24 - STUK VAN HET EERSTE DEEL EN TWEEDE DEEL VAN DE SCHOUW. ....	41
FIGUUR 25 - HET NAVIGATIE DEK EN DE BRUG.....	42
FIGUUR 26 - VERSCHILLENDE TYPES DETAILS. ....	47
FIGUUR 27 - HET MANGAT.....	48
FIGUUR 28 - DE LIEREN. ....	49
FIGUUR 29 - VOORPIEK DETAILS IN HOUT.....	50
FIGUUR 30 - VOORPIEK DETAILS IN HOUT.....	50
FIGUUR 31 - DETAILS VAN DE ACCOMMODATIE MET PE-SCHUIM.....	52
FIGUUR 32 - STUURPANEEL, DOOS VAN HET "MONKEY BRIDGE" EN "AC INLET". ....	52
FIGUUR 33 - DE TWEE TYPES WINCHES. ....	53
FIGUUR 34 - DE "CHRISTMAS TREE". ....	55
FIGUUR 35 - HOE HET NIET MOET EN HOE HET MOET.....	56
FIGUUR 36 - BALSALATTEN OP DE ACCOMMODATIE.....	58
FIGUUR 37 - DETAILS MET ANDER MATERIEEL GEBOUWD. ....	58
FIGUUR 38 - VOLGORDE VAN VERWEZENLIJKING VAN DE DEK DETAILS.....	60

FIGUUR 39 - LEGE RUIMTE EN DE "WORKSHOP" .....	61
FIGUUR 40 - SPANTEN OP DE "CRYSTAL EMERALD" .....	62
FIGUUR 41 - DE "CATWALK" .....	65
FIGUUR 42 - DE BERGRUIMTE. ....	66
FIGUUR 43 - DE TWEE TYPE PIJLERS. ....	67
FIGUREN 44 EN 45 - MATERIAAL VOOR DE KRANEN. ....	67
FIGUUR 46 - DE DRIE BELANGRIJKE PUNTEN VOOR HET VERVEN. ....	68
FIGUUR 47 - NODIGE BEDEKKING.....	69
FIGUUR 48 - DE LAATSTE WERKEN OP HET MODEL. ....	70
FIGUUR 49 - GECONDENSEERDE PE-SCHUIM.....	72
FIGUUR 50 - TYPES WINDTUNNELS IN FUNCTIE VAN DE WINDSNELHEDEN.....	74
FIGUUR 51 - GEBRUIKT MODEL VOOR HYPERSONISCHE TESTEN. ....	75
FIGUUR 52 - INFRAROOD VISUALISATIE VAN DE GASSEN ROND HET MODEL.....	75
FIGUREN 53 EN 54 - VOORBEEDEN VAN WERKEN MET BEHULP VAN TRANSONISCHE EN SUPERSONISCHE TUNNELS. (FIGUUR 53 GEEFT EEN AFBEELDING VAN DE DRUKLIJNEN, TERWIJL FIGUUR 54 DE MACHLIJNEN TOONT.).....	76
FIGUREN 55 EN 56 - VOORBEEDEN VAN LAGE SNELHEDEN WINDTUNNELS.....	77
FIGUUR 57 - LAGE SNELHEDEN WINDTUNNELS. ....	78
FIGUUR 58- SAMENVATTING VAN DE TYPE LAGE SNELHEDEN WINDTUNNELS. ....	79
FIGUUR 59 - OPEN CIRCUIT WINDTUNNEL. ....	80
FIGUUR 60 - GESLOTEN CIRCUIT WINDTUNNELS. ....	81
FIGUUR 61 - L1-B (GESLOTEN TESTSECTIE). ....	81
FIGUUR 62 - DE TESTSECTIE.....	82
FIGUUR 63 - DE 'CORNER VANES" .....	83
FIGUUR 64 - DE ROOKGENERATOR. ....	85
FIGUUR 65 - MANOMETER EN THERMOMETER VAN DE ROOKGENERATOR.....	86
FIGUUR 66 - PROCEDURE VOOR HET OPSTARTEN VAN DE ROOKGENERATOR. ....	87
FIGUUR 67 - DE VISUALISERINGMETHODE. ....	88
FIGUUR 68 - TERUGGEKAATST STRAAL. ....	90
FIGUREN 69 EN 70 - TEKENING VAN EEN OSCILLERENDE SPIEGEL. ACTIE VAN DE OSCILLERENDE SPIEGEL. ....	90
FIGUUR 71 - DRIEHOEKIG SIGNAAL .....	91
FIGUUR 72 - LINK TUSSEN DE VORM VAN HET SIGNAAL EN DE BEWEGING VAN DE SPIEGEL. ....	92
FIGUUR 73 - VERANDERING VAN WAARDE 1 NAAR WAARDE 0. ....	92
FIGUUR 74 - PULSGENERATOR, HET BESTUURPANEEL EN DE OSCILLERENDE SPIEGEL.....	93
FIGUUR 75 - PROCEDURE VOOR DE VISUALISERINGMETHODE. ....	94
FIGUUR 76 - PROCEDURE VOOR HET STARTEN VAN DE WINDTUNNEL.....	95

FIGUUR 77 - CHRONOLOGISCHE BESCHRIJVING VAN DE TESTEN.....	97
FIGUUR 78 - AFBEELDING VAN DE GEBRUIKTE ONDERDELEN.....	99
FIGUUR 79 - VERDUISTERING VAN DE DEUREN VAN DE WINDTUNNEL.....	100
FIGUUR 80 - RECHTHOEKIG SIGNAAL. ....	102
FIGUUR 81 - DRIEHOEKIG EN RECHTHOEKIG SIGNAAL SAMEN.....	103
FIGUUR 82 - EERSTE PRAKTISCHE SYNCHRONISATIE CAMERA – OSCILLERENDE SPIEGEL. ....	104
FIGUUR 83 - TWEEDE PRAKTISCHE SYNCHRONISATIE CAMERA – OSCILLERENDE SPIEGEL.....	105
FIGUUR 84 - VERTRAGING VAN EEN VAN DE SIGNALLEN.....	106
FIGUUR 85 - DE PIXELFLY EN DE ZELFGEMAAKTE STEUN.....	108
FIGUUR 86 - DOOS EN ROOKGENERATOR VAN HET VON KARMAN INSTITUUT.....	111
FIGUUR 87 - DOOS EN DE ROOKGENERATOR VAN DE ZEEVAARTSCHOOL.....	112
FIGUUR 88 - DE DOOS EN DE TWEE ROOKGENERATOREN.....	112
FIGUUR 89 - TESTEN MET DE LASERSTRAAL OP DE ZIJKANT.....	116
FIGUUR 90 - VERLICHTING VAN DE ROOK WANNEER HET SCHIP EEN HOEK VAN 90° MET DE WIND MAAKT. ....	117
FIGUUR 91 - LASERSTRAAL OP HET DEK.....	118

## Lijst van foto's

FOTO 1 - WINDTUNNEL L1 VAN HET VON KARMAN INSTITUUT. ....	4
FOTO 2 - VOORGEVEL VAN HET VON KARMAN INSTITUUT. ....	4
FOTO'S 3 EN 4 - DE "CRYSTAL EMERALD" IN HET DROOGDOK. HET DEK VAN DE "CRYSTAL EMERALD". ....	6
FOTO 5 - MODELBOUW Vliegwezen TRIPLEX.....	13
FOTO 6 - TRIPLEX VAN 3MM DIKTE. ....	13
FOTO 7 - DENNENHOUTEN LAT VAN 5 MM BREEDTE. ....	14
FOTO 8 - BALSALATTEN.....	14
FOTO 9 - Balsa.....	15
FOTO 10 - GEHEEL VAN DE PRODUCTEN. ....	16
FOTO 11 - WIPZAAG.....	16
FOTO 12 - VASTE BANDZAAG. ....	17
FOTO 13 - FIJNE LINTZAAG.....	17
FOTO 14 - BANDSCHUURMACHINE. ....	17
FOTO 15 - DRIEHOEKIGE SCHUURMACHINE. ....	18
FOTO 16 - DREMEL.....	18
FOTO'S 17, 18 EN 19 - HET OPPLAKKEN VAN DE SPANTVORMEN OP DE TRIPLEX PLANK. HET FIJN ZAGEN EN FIJN SCHUREN VAN EEN SPANT.....	21
FOTO'S 20 EN 21 - HET ZAGEN VAN DE LATTEN ONDER EEN HOEK VAN 45° EN EEN AANTAL AFGEWERKTE LATTEN. ....	22
FOTO 22 - HET NAZIEN VAN DE INKEPINGEN VAN DE SPANTEN.....	23
FOTO'S 23, 24 EN 25 - BEVESTIGING VAN DE BALSALATTEN.....	25
FOTO 26 - EINDRESULTAAT VAN DE PLAATSING VAN DE BALSALATTEN. ....	26
FOTO 27 - OPEENSTAPELING VAN DE TWEE ROMPEN.....	26
FOTO'S 28 EN 29 - HET VERLIJMEN VAN DE ROMPBEPLATING OP DE STEUNLATTEN. ....	29
FOTO'S 30, 31 EN 32 - EINDE VAN DE PLAATSING VAN DE BEPLATING. HET SNIJDEN VAN DE ROMP IN TWEE DELEN. DE TWEE DELEN VAN DE ROMP. ....	29
FOTO'S 33 EN 34 - HET BESTRIJKEN MET EPOXY. PLAATSING VAN DE VEZELS. ....	31
FOTO'S 35 EN 36 - ABSORPTIE VAN HET EPOXY DOOR DE VEZELS. HET VERDRIJVEN VAN DE LUCHTBELLEN.....	31
FOTO 37 - EINDE VAN HET EPOXYSATIEPROCES. ....	31
FOTO'S 38, 39 EN 40 - DE TWEE DELEN VAN DE ROMP. PLEKJES WAAR HET SCHUREN NOODZAKELIJK WAS. ....	32
FOTO 41 - DE EERSTE DOOS. ....	37
FOTO 42 - GEBRUIK VAN DE GEPREFABRICEEERDE BOUWTECHNIEK. ....	39
FOTO 43 - HOEK INSTELBARE SCHUURTAFEL.....	43
FOTO'S 44 EN 45 - VERWEZENLIJKING VAN DE "MONKEY BRIDGE". PLAATSING VAN DE "NAVIGATIEBRUG". ....	44
FOTO'S 46 EN 47 - DE TWEE BASISSEN ( DE ACCOMMODATIE EN DE ROMP). ....	45



FOTO'S 48 EN 49 - UITRUSTINGEN VAN HET DEK VAN DE "CRYSTAL EMERALD" .	46
FOTO 50 - DE "MOB" BOOT.....	53
FOTO 51 - DE KRAAN VOOR VOORRAAD.....	54
FOTO'S 52 EN 53 - PET VAN DE "NAVIGATIEBRUG" .....	55
FOTO 54 - DE TRAPPEN EN TRAPHAL.....	57
FOTO 55 - DE STEUNSTRUCTUUR VAN DE REDDINGSBOOT.....	57
FOTO'S 56 EN 57 - DE UITLAATPIJPEN. ....	60
FOTO 58 - DE "WORKSHOP" .....	62
FOTO 59 - DE SPANTEN. ....	64
FOTO'S 60 EN 61 - DE VERSTERKTE SOEPELE SLANGEN. BOCHTSTUKKEN MET SCHROEFDRAAD. ....	71
FOTO'S 62 EN 63 - MODELLEN DIE IN HOGE SUBSONISCHE WINDTUNNELS GEBRUIKT ZIJN. ....	76
FOTO 64 - DE "HONEYCOMBS".....	83
FOTO'S 65 EN 66 - DE LASER EN ZIJN BESTURINGSBORD.....	88
FOTO 67 - HET MODEL IN DE WINDTUNNEL.....	95
FOTO'S 68 EN 69 - DE PIXELFLY. ....	101
FOTO 70- DE BOVEN VERMELDE INSTRUMENTEN TIJDENS DE TESTEN.....	105
FOTO 71 - FOTO GENOMEN DOOR DE PIXELFLY. ....	107
FOTO 72 - DE "COLT 4" VAN "CORONA INTEGRATED TECHNOLOGIES". ....	109
FOTO'S 73 EN 74 - FOTO'S GENOMEN GEDURENDE HET DERDE TYPE TESTEN.....	114

## Lijst van tabellen

TABEL 1 - WERKACTIVITEITEN IN HET VON KARMAN INSTITUUT. ....	4
TABEL 2 - DE GRONDSTOFFEN.....	15
TABEL 3 - DE WERKTUIGEN. ....	18
TABEL 4 - REIKWIJDTE VAN DE DOZEN. ....	34
TABEL 5 - SAMENVATTING VAN DE HOUTEN DETAILS VAN DE ACCOMMODATIE.....	54
TABEL 6 - DE SNELHEDEN VAN DE WIND IN DE TESTSECTIE VAN DE VERSCHILLENDE WINDTUNNELS. ....	74
TABEL 7 - VOOR- EN NADELEN VAN OPEN CIRCUIT WINDTUNNELS. ....	79
TABEL 8 - VOOR- EN NADELEN VAN GESLOTEN CIRCUIT WINDTUNNELS". ....	80
TABEL 9 - UITLAATSNELHEDEN VAN DE ROOK IN M/S.....	113
TABEL 10 - LOGBOEK DEEL 1. ....	118
TABEL 11 - LOGBOEK DEEL 2. ....	119

## Verklarende woordenlijst

- De grenslaag: is de laag van de vloeistof die rechtstreeks in contact met de oppervlakte van een voorwerp komt. De “grenslaag effect” treedt op in de regio van het voorwerp waar er een stroom verandering is. Dit effect wordt gecreëerd door het feit dat de stroming door viskeuze wrijving afgeremd wordt. Het gevolg is dat er een laagje ontstaat — de *grenslaag* — met een snelheidsverdeling die loopt van de (ongestoorde) snelheid aan de buitenkant van de grenslaag tot nul op de wand.<sup>1</sup>
- Mach getal: is een dimensieloze grootheid van relatieve snelheid. Het wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de snelheid van een object ten opzichte van het fluïdum waarin het beweegt en de lokale snelheid van het geluid in datzelfde fluïdum. Mach 1 (genoteerd als  $M=1$ ) is een snelheid die precies gelijk is aan de lokale geluidssnelheid in het fluïdum (340,17 m/s of 1224 km/h).<sup>2</sup>
- Monkey island: is het dek dat zich op de navigatiebrug bevindt.
- PE-schuim: is gelijk aan polyethyleen schuim. Dat type schuim werd veel voor de verwezenlijking van onze details gebruikt.
- P/V afsluiter: staat voor “Pressure-Vacuum” afsluiter. Is een afsluiter die de druk en/of het vacuüm in een tank regelt.



- Testsectie van een windtunnel: de testsectie is de plaats waar het model in een windtunnel geplaatst wordt. Het is dus de werkplaats van de windtunnel.

---

<sup>1</sup> Een deel van de definitie kan teruggevonden worden op: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Grenslaag>

<sup>2</sup> Definitie gevonden op: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Machgetal>

## Inleiding

De verwezenlijking van een masterproef is voor veel mensen een belangrijk werk en een mijlpaal in het studentenleven. De kennis die gedurende de opeenvolgende studiejaren opgedaan werd, biedt de studenten de mogelijkheid om een onderwerp te onderzoeken, te begrijpen en de opgedane wetenschap en ervaring in een thesis te verwerken.

De keuze van het onderwerp van de masterproef is een belangrijk punt door het feit dat de student er gedurende twee jaar zal aan werken en dat deze proef tot het behalen van zijn diploma zal bijdragen. Het onderwerp van de masterproef moet ook gekozen worden in functie van de toekomstige professionele verwachtingen van de student. Deze twee redenen vergemakkelijken de keuze van het onderwerp niet.

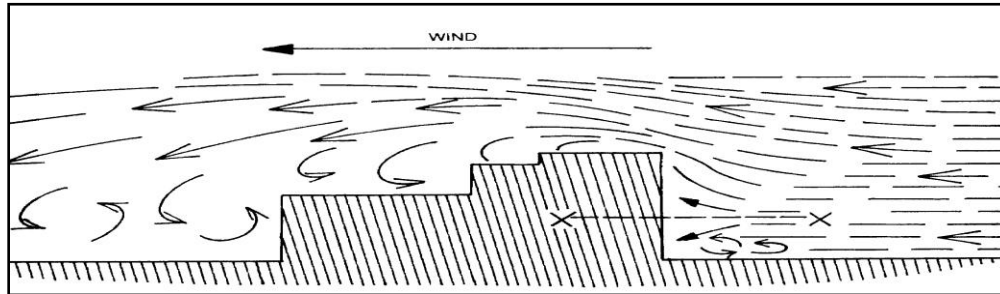
De keuze van een onderwerp kan ook beïnvloed worden door aangereikte thema's. Immers aan de "Hogere Zeevaartschool Antwerpen" bestuderen de leraren speciale onderwerpen. Ze betrekken en vragen de studenten bij hun onderzoek te helpen. Dit was het geval voor deze materscriptie.

Het voorstel van het onderwerp werd door Mevrouw Reynaerts en Kapitein Jacobs geformuleerd. Hun basisidee was om de verspreiding van toxische dampen aan boord van een chemicaliëntanker tijdens normale operaties na te gaan en te onderzoeken. Hiervoor zou er een schaalmodel van een chemicaliëntanker gebouwd worden. Door dit model in een windtunnel te plaatsen zouden de luchtstromingen bestudeerd kunnen worden.

Mijn beslissing om dit onderwerp te aanvaarden, werd heel snel genomen en dit om verschillende redenen.

Ten eerste had ik de indruk dat de ongewenste verspreiding van schadelijke gassen rondom een schip en zijn accommodatie een weinig bestudeerd probleem bleek te zijn. Over dit onderwerp is er inderdaad weinig vakliteratuur beschikbaar. In sommige cursussen kregen wij beelden van de verdachte verspreiding van gassen aan boord van een chemicaliëntanker te zien. Deze tekeningen, zoals er een hieronder afgebeeld is, geven maar een algemeen, vaag en verondersteld beeld van de verspreiding weer. Door middel van de testen in de windtunnel zou het mogelijk zijn om een beter en juister zicht op de verspreiding te krijgen. Het probleem werd al eerder door onze promotoren bestudeerd. Bij de "Hogere Zeevaartschool Antwerpen" werden enkele geïsoleerde testen met een rookgenerator uitgevoerd. Maar door de middelmatige resultaten van deze proeven was het noodzakelijk om betere en meer wetenschappelijke testen

uit te voeren. Ook werd er al onderzoek aan boord van schepen door Kapitein Jacobs uitgevoerd. Om echter een volledig onderzoek en een eindrapport over deze fenomenen te kunnen neerleggen, besliste Kapitein Jacobs verdere experimenten in een windtunnel uit te voeren.



Figuur 1 - Veronderstelde verspreiding van dampen aan boord van schepen.

Ten tweede behoort het tot mijn verantwoordelijkheid als toekomstige officier van koopvaardij schepen om de potentiële gevaren voor de bemanningsleden te kennen en te verduidelijken.

Het praktische en wetenschappelijke karakter van deze masterproef vormde het derde beslissingspunt in mijn keuze.

Het vierde en laatste aantrekkingspunt van dit onderwerp was het feit dat het schaalmodel op de chemicaliëntanker “Crystal Emerald” moest lijken. Tijdens de maand augustus van 2006 heb ik een vierweekse stage op dit schip gedaan. Het was dus voor de handliggend dat dit een goede hulp voor de verwezenlijking van het model zou zijn.

Door de redelijk grote omvang van dit project hadden de promotoren sinds het begin beslist om twee studenten in te schakelen. Gedurende de twee jaren heb ik samen met Cédric Brichart een vriend en collega van de “Hogere Zeevaartschool” aan dit project gewerkt.

Deze masterscriptie geeft een chronologische beschrijving van onze werkzaamheden. Ten eerste maakten we kennis met de medewerkers van het von Karman Instituut om de aanpak te bespreken. De tweede grote etappe werd het bouwen van het model zelf, wat veel tijd vergde tijdens ons derde jaar aan de Zeevaartschool. Ten derde hebben we de eigenlijke testen in de windtunnel uitgevoerd. Deze masterproef beschrijft deze drie etappes. De laatste etappes van het project zijn de verwerking van de meetresultaten van de testen en de besluitvorming. Deze worden respectievelijk in de masterproef van Cédric Brichart en de thesis van Kapitein Jacobs behandeld.

# Deel 1: Het bouwen van het model

## **Hoofdstuk 1: Het begin van het project**

In dit hoofdstuk worden drie grote punten behandeld. Om te beginnen geven we een beschrijving van het von Karman Instituut. Daarna is er een korte uitleg over de “Crystal Emerald”. Om dit hoofdstuk te eindigen is er een rapport over de punten die we dienden te bespreken om het project te kunnen starten.

### **1.1 Het von Karman Instituut (VKI)**

#### **1.1.1 Geschiedenis van het von Karman Instituut**

Voor het uitvoeren van de testen werkten we samen met het von Karman Instituut gelegen in Sint-Genesius-Rode. Het von Karman Instituut werd in 1956 op het terrein van de luchtvaart- administratie opgericht. De geschiedenis van de site toont dat in 1922 de technische dienst van de luchtvaartadministratie het eerste onderzoekslaboratorium bouwde. Na de Tweede Wereld Oorlog heeft de Belgische regering beslist om het luchtvaarttechnisch centrum te moderniseren. In 1955 heeft Theodore von Karman, toen verantwoordelijk voor een onderzoeksgroep in luchtvaarttechniek bij de NAVO, een voorstel gedaan. Theodore von Karman wou een instituut oprichten dat open zou staan voor de studenten en ingenieurs van de NAVO landen. Er zou training en onderzoek georganiseerd worden in alle aerodynamica-domeinen. Een overeenkomst voor de oprichting van het instituut werd tussen België en de Verenigde Staten getekend. In 1963 werd Theodore von Karman aangesteld als eerste directeur van het instituut en dat is de reden waarom het instituut zijn naam heeft gekregen.

#### **1.1.2 Verschillende werkactiviteiten van het von Karman Instituut**

Het instituut biedt tegelijkertijd onderwijs en onderzoek in drie afdelingen:

- “ Environmental and Applied Fluid Dynamics Department”
- “Aeronautics and Aerospace Department”
- “ Turbomachinery and Propulsion Department”

In het volgende schema wordt een overzicht van de activiteiten gegeven.

<b>“Environmental and Applied Fluid Dynamics Department”</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aeroacoustics</li> <li>– Wind technology</li> <li>– Ground vehicle aerodynamics</li> <li>– Turbulent flow and heat transfer</li> </ul>
<b>“Aeronautics and Aerospace Department”</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aeronautics (airfoil testing, simulations)</li> <li>– Aerospace</li> <li>– Plasma (Investigation of Plasmatron operation and performance)</li> </ul>
<b>“Turbomachinery and Propulsion Department”</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Flow in turbomachinery</li> <li>– Conventional measurements techniques</li> </ul>

Tabel 1 - Werkactiviteiten in het von Karman Instituut.

Dit centrum biedt een prachtig onderzoekskader voor de beste onderzoekers ter wereld in de “vloeistofdynamica”.

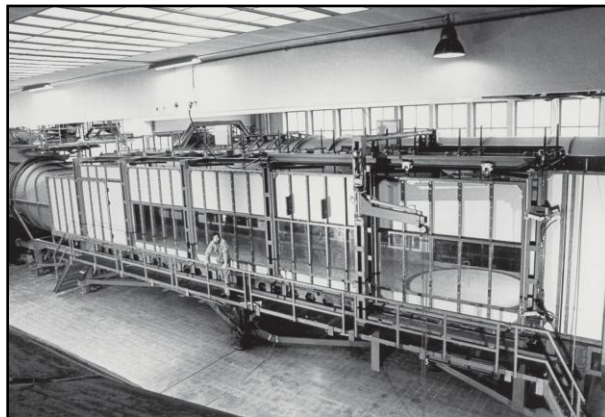


Foto 1 - Windtunnel L1 van het von Karman Instituut.



Foto 2 - Voorgevel van het von Karman Instituut.

### **1.1.3 Contactpersoon en het eerste bezoek**

Het project werd gestart met meerdere bezoeken aan het von Karman Instituut onder begeleiding van Dr. Van Beeck en Ir. Planquart allebei medewerkers van het “Environmental and Applied Fluid Dynamics Department”. Door hun ervaring en hulp hebben wij de kans gekregen om een stevig project te verwezenlijken.

Het eerste bezoek vond plaats gedurende de maand oktober 2007. Bij dit eerste bezoek aan het instituut hebben wij de verschillende gebouwen, windtunnels en labo's kunnen bezoeken. Tijdens deze ontmoeting hebben wij ons project voorgesteld. Het instituut voerde tot op heden weinig onderzoek op maritiem vlak uit. Daardoor toonden de ingenieurs van het instituut veel interesse in ons onderzoek.

## 1.2 De Crystal Emerald

« Crystal Pool Group » is een Finse rederij die in het bezit van verschillende schepen is. Deze schepen varen onder de Luxemburgse vlag. De “Crystal Emerald” is een van die schepen. Ze werd gebouwd in 1994 op Boelwerf in België. De “Crystal Emerald” was het laatste schip dat door deze scheepswerf gebouwd werd. Haar twee zusterschepen zijn de “Crystal Pearl” en de “Crystal Amethyst”.

Ze werd gebouwd met een dubbele romp en haar lengte over alles is 112m. De “Crystal Emerald” kan vloeibare goederen zoals oliën en chemicaliën vervoeren. Ze bevat zeventien tanks om dit soort goederen te vervoeren en is operationeel in de kustvaart langs de Baltische Zee en de Noordzee.



Foto's 3 en 4 - De “Crystal Emerald” in het droogdok. Het dek van de “Crystal Emerald”.



### **1.3 De vragen bij de start**

In het begin van het project hadden we veel onbekende punten en vragen. Gedurende de eerste bezoeken bij het von Karman Instituut hebben wij de onderstaande thema's besproken.

#### **1.3.1 De keuze van de verontreinigende stof**

Een eerste vraag waarop we een antwoord moesten vinden was de keuze van de verontreinigende stof. Zonder verontreinigende stof kunnen we geen onderzoek uitvoeren. Het basisidee van de testen is om het model in de windtunnel te plaatsen waar er zich enkel lucht in bevindt. Daarna verspreiden we een bekende soort verontreinigende stof door middel van de uitlaten van de tanks van het model. Door middel van de windcirculatie worden deze stoffen meegenomen en verspreiden ze zich rond het model of verder.

Een juiste keuze van de verontreinigende stof is van groot belang om de testen niet te vervalsen. Aan boord van de "Crystal Emerald" werden reeds testen uitgevoerd. Deze testen werden doorgevoerd met stoffen zoals: methanol, benzeen, ethylbenzeen, toluen, xyleen en trimethylbenzeen. Bij het von Karman instituut wordt er als "verontreinigende stof" ofwel helium ofwel rook uit een rookgenerator voor de uitvoering van de testen gebruikt. De stoffen die tijdens de reeds uitgevoerde en de toekomstige testen op het schaalmodel worden gebruikt, zijn verschillend. De vraag stelt zich of de resultaten van beide testen met elkaar kunnen vergeleken worden? Door het lage verschil in de dichtheid van de verschillende stoffen oordeelden we dat het gebruik van helium voor de testen in een eerste fase geen problemen of noemenswaardige afwijkingen in de meetresultaten zou veroorzaken.

#### **1.3.2 De keuze van de analysemethode van de verontreinigende stof**

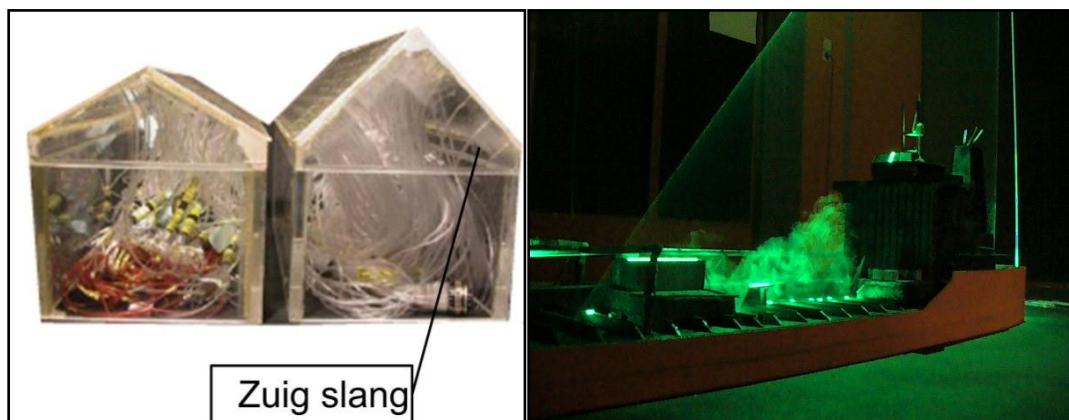
Een tweede vraag waarop een antwoord geformuleerd diende te worden, stond in verband met de keuze van de analysemethode van de verontreinigende stoffen. Dit is een belangrijk punt wegens het feit dat deze keuze invloed heeft op de wijze van bouwen van het model dat we later zullen gebruiken. Twee manieren van analyseren waren mogelijk: de analyse door "laser technologie" en de analyse door het opzuigen van de verontreinigende stoffen via kleine buisjes.

De laser technologie is een goede methode om de stroomlijnen te visualiseren terwijl het opzuigen van de stoffen een goede werkwijze is om een nauwkeurige concentratiemeting van de

stoffen op een bepaalde plaats uit te voeren. Voor de lasertechnologie gebruiken we rook terwijl helium voor de opzuigingsmethode gekozen wordt.

In samenwerking met het instituut hadden we in een eerste fase voor de tweede methode gekozen en dit omwille van het feit dat we sterk geïnteresseerd waren in de concentratie van de gassen die we aan boord kunnen ontmoeten. Door het gebruik van deze methode dienen we opzuigingsbuizen in het model te plaatsen.

Na een paar bezoeken werd echter toch de “laser technologie” gekozen. Met de “laser technologie” bekomen we sneller zichtbare resultaten terwijl de concentratie analyse meer tijd vraagt.



Figuur 2 - Opzuigingsmethode en laser technologie.

### 1.3.3 De keuze van de bouwtechniek

Onervaren als wij waren in het domein van schaalmodellen, werden er veel inlichtingen op de afdeling “ modelbouw” ingewonnen. Via internetsites, raadpleging van publicaties en door advies van modelbouwers hebben wij onze kennis over het modelbouwen uitgebreid.

Om te kunnen bouwen hadden wij een bouwprocedure nodig. Bij de aanvang hadden we drie bouwtechnieken overwogen.

De eerste overwogen bouwtechniek was het bouwen van het schaalmodel in drie delen. Het achterschip en het voorschip zouden gebouwd worden uit een blok balsa. Door dit blok glad te schuren kunnen wij de optimale vorm van de voor- en de achtersteven bekomen. Om het rechthoekige middengedeelte van het schip te verwezenlijken zouden wij gewoonweg plankjes gebruiken. Deze techniek leek ons gemakkelijk maar omdat we sceptisch stonden over de

praktische verwezenlijking van het voor- en achterschip werden enkele andere technieken ook in overweging genomen.

Een tweede mogelijkheid werd voorgesteld door het von Karman instituut. Bij dit bouwproces dienden wij een blok “schuim” met een warme draad te snijden. Hierdoor kan de gepaste vorm uit het schuimblok gesneden worden. Door het hoge aantal verschillende vormen van een schip leek ons deze techniek moeilijk toepasbaar.

De derde mogelijkheid was om “spanten” te bouwen en daarop kleine fijne plankjes te lijmen. Dit is een tijdrovende techniek en door de beperkte beschikbare bouwtijd zou het moeilijk zijn om deze bouwwijze toe te passen.

Tijdens één van onze vergaderingen bij het von Karman Instituut hebben wij Mr. Missart ontmoet. Mr. Missart werkt bij het von Karman instituut en is een ervaren modelbouwer. Wij hebben onze drie benaderingen aan de heer Missart voorgelegd, en om zijn mening en advies gevraagd. Hij adviseerde ons, de door ons bedachte bouwtechnieken niet te gebruiken en deed ons een tegenvoorstel. Dit tegenvoorstel wordt verder in hoofdstuk 3 volledig besproken.

### **1.3.4 De keuze van de schaal**

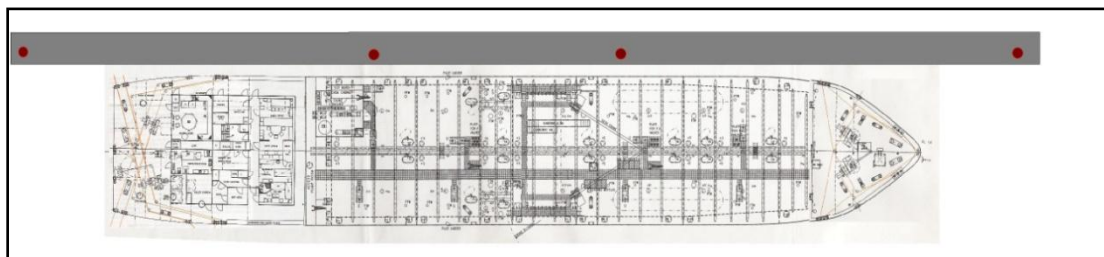
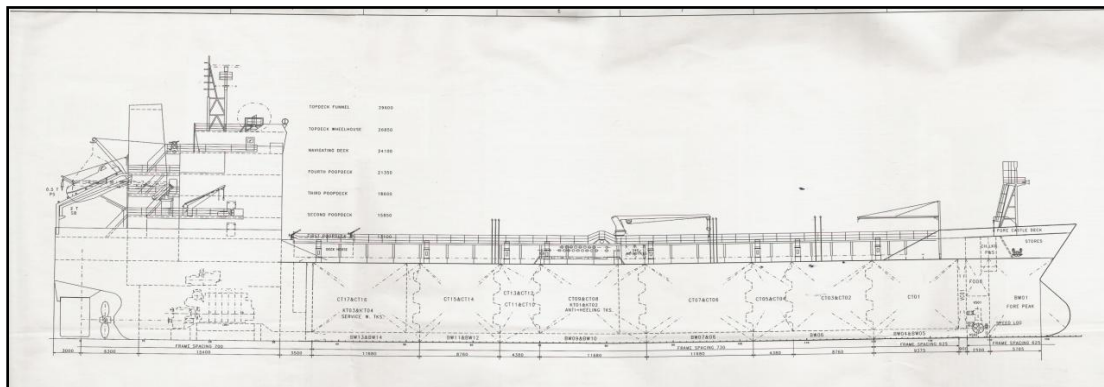
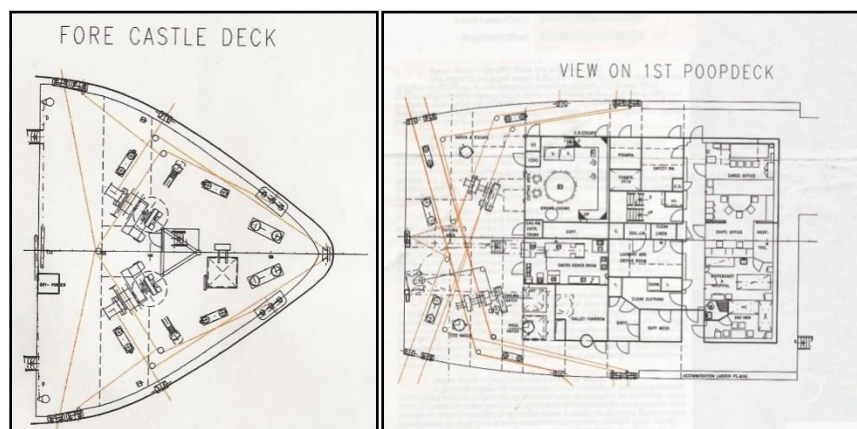
Ons schaalmodel is gebouwd op een schaal van  $1/56^{\text{ste}}$  ten opzichte van de werkelijke “Crystal Emerald”. Wij leggen hieronder uit hoe we tot die schaal gekomen zijn. De toekomstige testen zullen uitgevoerd worden in de L1 windtunnel. Deze windtunnel is rechthoekig en heeft een lengte van 20m, een breedte van 3 m en een hoogte van 2m.

Om een meetresultaat te bekomen dat dicht bij de werkelijkheid aansluit werd geopteerd om een zo groot mogelijk als uitvoerbaar model te bouwen. Een beperkende factor was de breedte van de windtunnel. In de windtunnel zal het model immers om zijn verticale as gedraaid worden. Daarom moest er op toegezien worden dat het model bij rotatie geen te groot obstakel in de windtunnel zou vormen. Als dat het geval zou zijn dan zouden wij een verandering in de natuurlijke afvloeiing van de dampen en de lucht krijgen (luchtversnelling). Om het blokkeren van de windtunnel te vermijden, mocht het model een maximale verticale oppervlakte gelijk aan 10% van de windtunneloppervlakte niet overschrijden. Na berekening hadden wij de maximale schaal gevonden en de daaraan verbonden lengte van het schaalmodel bedraagt daardoor 2.30m. Om praktische redenen hebben we die 2.30m tot 2.00m herleid. Deze maat stemt overeen met een schaal van  $1/56^{\text{ste}}$ .

### 1.3.5 De nodige plannen

Om met de bouw van het model te kunnen beginnen, waren er plannen nodig. We beschikten over twee soorten plannen.

Het eerste type plannen waren ingescand en afkomstig van twee studenten en van Kapt. Jacobs. Deze plannen werden gescand gedurende de werkelijke testen aan boord. Deze plannen toonden ons al een goed overzicht van het schip maar gaven onvoldoende nauwkeurige afmetingen. Beter gedetailleerde plannen waren nodig om ons schaalmodel te bouwen.



Figuren 3.1, 3.2, 3.3 en 3.4 - Ingescande plannen van de "Crystal Emerald".

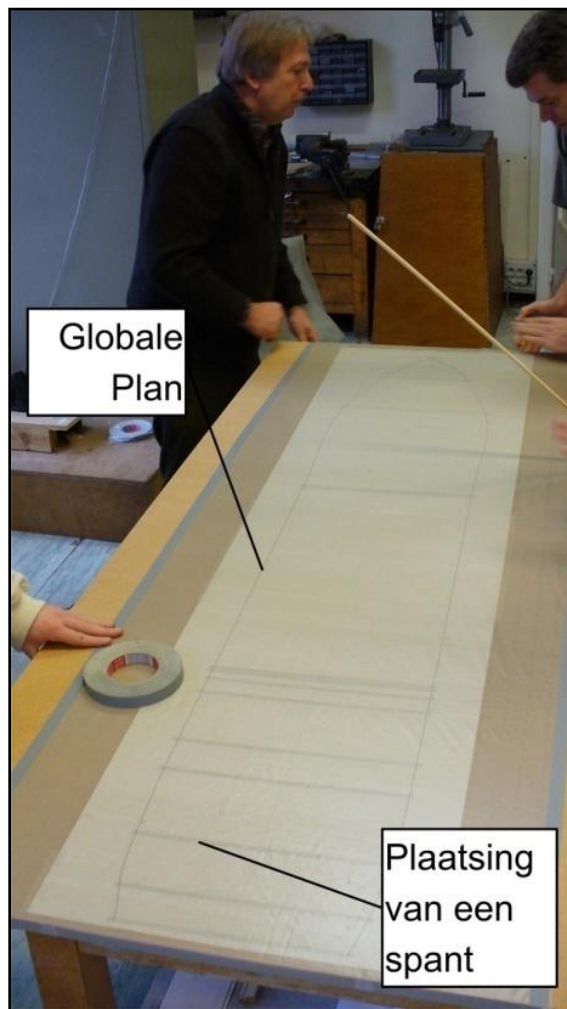
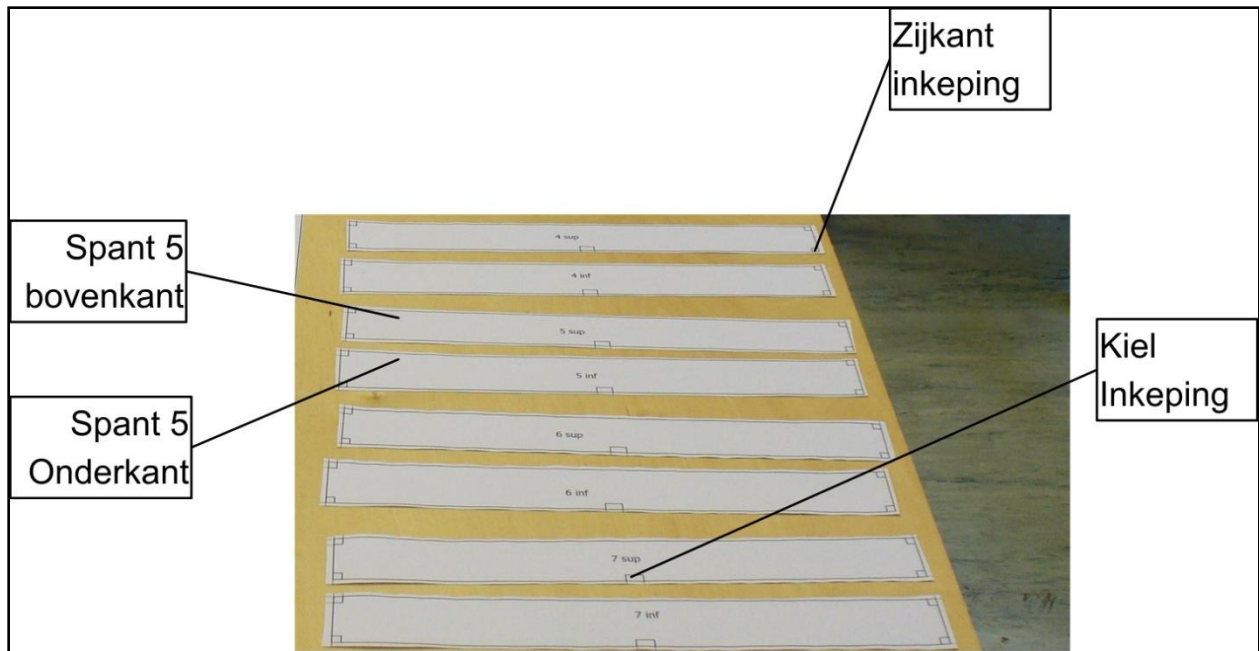
Tijdens een bezoek aan boord van de “Crystal Emerald” hebben we de nodige en gezochte plannen gevonden. Na de selectie van de meest geschikte en nodige plannen hebben wij die gefotokopieerd. Het betrof hier plannen van het voor- en achterschip, van het dek en van dwarsdoorsneden. De plannen van de spanten werden in volgorde, van het achterschip naar het voorschip gerangschikt. Spijtig genoeg was er geen schaal aanduiding op deze plannen aangebracht. Voor elk spantplan hebben we de schaal berekend uitgaande van de afmetingen die op de lengtedoorsnede van het schip waren aangegeven.

Tijdens een vergadering hebben wij de tekenaar van het von Karman Instituut ontmoet. Na een korte uitleg over ons project, stelde hij ons voor de papieren plannen (gefotokopieerde plannen) in een digitale versie om te zetten.

De verzamelde plannen werden aan het von Karman Instituut gegeven en werden door Mr. Missart gedigitaliseerd. Op deze digitale copies heeft hij meerdere punten op het schip gekozen. Daarmee heeft hij krommen tussen deze punten getekend door middel van een computer programma: AutoDesk Mechanical Desktop 3D. Na deze etappe was het nu mogelijk om de spanten op de gewenste schaal te dimensioneren. Door middel van dit programma heeft hij nieuwe plannen van het schip, van de romp en van de spanten getekend. De volgende techniek werd gebruikt.

De nieuwe getekende spanten werden op een lengteas geplaatst. Tussen deze spanten heeft Mr. Missart krommen getekend om de romp te verwezenlijken.

Daarna werden de aparte plannen van de spanten in twee gesneden. Dit om een veranderlijke waterverplaatsing te kunnen simuleren. In de spanten zijn er verschillende inkepingen voorzien. Die zijn nodig om de kiel en de verschillende balsalatten te kunnen bevestigen. De balsalatten zijn de dragers van de romp van het model. Als laatste werden de spanten genummerd en op A3 papier geprint. De uitgeprinte spanten werden rechtstreeks op het triplex geplakt en nadien uitgezaagd.





Figuren 4.1 en 4.2 - Plannen van de spanten.

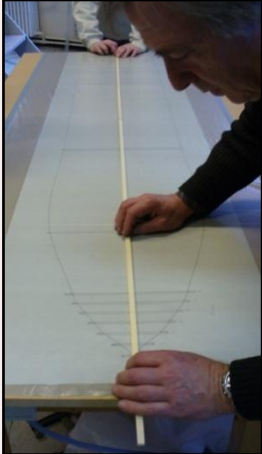

## Hoofdstuk 2: Het materiaal

In dit hoofdstuk, bespreken we de lijst van de werktuigen en van de grondstoffen die we nodig hadden om de accommodatie en de romp te bouwen.


De afmetingen zijn als volgt opgegeven: dikte/breedte/lengte (in mm).

### 2.1 De Grondstoffen

Grondstof	afmetingen
<p><b><u>Triplex voor Modelbouw vliegwezen</u></b></p> <p>Werd gebruikt voor het bouwen van de spanten, van het dek en van sommige details op de accommodatie.</p> <p>Door de relatieve hoge prijs van dit soort materiaal moesten we proberen om zo zuinig mogelijk te werken.</p>  <p>Foto 5 - Modelbouw vliegwezen triplex.</p>	3/700/1000mm
<p><b><u>Gewone Triplex</u></b></p> <p>Werd gebruikt voor de accommodatie en andere details.</p>  <p>Foto 6 - Triplex van 3mm dikte.</p>	3/700/1000mm
<p><b><u>Latten in den(boom)</u></b></p> <p>Werd tijdens de bouw van de accommodatie gebruikt als winkelhaak.</p>	20/20/2000mm

<p><b><u>Dennenhouten latten</u></b></p> <p>Dit soort latten werd gebruikt om de kiel van het schip te bouwen. Drie latten werden in de lengte aan elkaar gelijmd om de totale lengte van het schip te bereiken. Deze latten zijn aan de spanten bevestigd en dienen als steunmiddel voor de balsaromp.</p>  <p>Foto 7 - Dennenhouten lat van 5 mm breedte.</p>	<p>5/10/1000mm</p>
<p><b><u>Balsalatten</u></b></p> <p>Deze latten hebben dezelfde functie als de dennenhouten latten van 5/10/1000mm. Ze steunen de balsaromp. Door hun grotere flexibiliteit dan dennenhouten latten werden de balsalatten vooral bij het bouwen van het achter- en voorschip gebruikt.</p>  <p>Foto 8 - Balsalatten.</p>	<p>5/5/1000mm</p>



<p><b><u>Balsa</u></b></p> <p>Deze planken werden voor de romp (de beplating) gebruikt.</p>  <p>Foto 9 - Balsa.</p>	<p>1,5/100/1000mm</p>
<p><b><u>Polystyreenschuim</u></b></p> <p>Werd gebruikt om de ruimte tussen twee dekken te vullen. Deze ruimte heeft juist een hoogte van 50mm.</p>	<p>50/1000/1500mm</p>
<p><b><u>Pattex Houtlijm</u></b></p> <p>Deze lijm werd aangewend om balsalat en balsaplank te bevestigen.</p>	
<p><b><u>Roze ZAP lijm</u></b></p> <p>Deze lijm is een secondenlijm en vrij vloeibaar. Door deze lijm te gebruiken kunnen wij een tijdelijke bevestiging maken. Als het onderdeel goed geplaatst is dan kan een steviger bindmiddel aangewend worden. Deze roze ZAP lijm wordt gebruikt met een verharder om de snelheid van bevestiging te verhogen</p>	
<p><b><u>Groene ZAP lijm</u></b></p> <p>Deze lijm is ook een secondenlijm maar is meer kleverig dan de roze ZAP lijm. Deze lijm wordt meestal gebruikt om voegen te maken. Ze wordt met een verharder gecombineerd om de droogtijd te verlagen.</p>	
<p><b><u>ZAP 'verharder'</u></b></p> <p>Harder is een product dat in combinatie met de ZAP lijmen (roze en groene) een verlijming in enkele seconden mogelijk maakt.</p>	
<p><b><u>Epoxy set n°30</u></b></p> <p>Deze set is uit twee producten samengesteld: een hars en een harder. Na mengeling van die twee producten, krijgen wij een epoxy die in dertig minuten zal verharden. Het epoxy werd ondermeer gebruikt voor het lijmen van diverse onderdelen (spanten, kiel, dennen boomlatten, balsalatten, accommodatie, ...)</p>	

Tabel 2 - De grondstoffen.



Foto 10 - Geheel van de producten.

## 2.2 De Werktuigen

### Werktuigen

#### Wipzaag

Werd gebruikt om de triplexplaten te zagen. Dit type zaag werd maar zeer zelden gebruikt door het feit dat het moeilijk is om een mooie rechte zaagsnede te maken.



Foto 11 - Wipzaag.

#### Bandzaag

Deze bandzaag vereist geen handmanipulatie om de goede vorm te zagen. Deze zaag levert een betere uitsnijding.



Foto 12 - Vaste bandzaag.

### **Fijne lintzaag of figuurzaag**

Deze zaag werd gebruikt om details te zagen waarbij een hoge nauwkeurigheid vereist was. Bijvoorbeeld, voor de inkepingen in de spanten.



Foto 13 - Fijne lintzaag.

### **Bandschuurmachine**

Gebruikt om verschillende oppervlaktes te schuren.



Foto 14 - Bandschuurmachine.

### Driehoekige schuurmachine

Vereist voor kleine werken.



Foto 15 - Driehoekige schuurmachine.

### Dremel

Heel nuttig voor de kleine en nauwkeurige werken.



Foto 16 - Dremel.

### Messen en cutters

Gebruikt voor het ver- of insnijden van balsa.

Tabel 3 - De werktuigen.

## Hoofdstuk 3: Het bouwen van de romp

### 3.1 Inleiding en kort overzicht van de etappes

Om het model te bouwen hadden we gemerkt dat het mogelijk zou zijn om het in drie fasen te bouwen: de romp, de accommodatie en de details.

Een belangrijk punt waarbij bij de bouw rekening mee moest worden gehouden, was het feit dat er twee mogelijke diepgangen (waterverplaatsingen) gesimuleerd zouden worden. De twee diepgangen zouden de ballast en de geladen toestand van het schip weergeven. Hierdoor worden de werkelijke vaaromstandigheden van het schip het best benaderd. De onderstaande beelden verduidelijken deze aanpak.



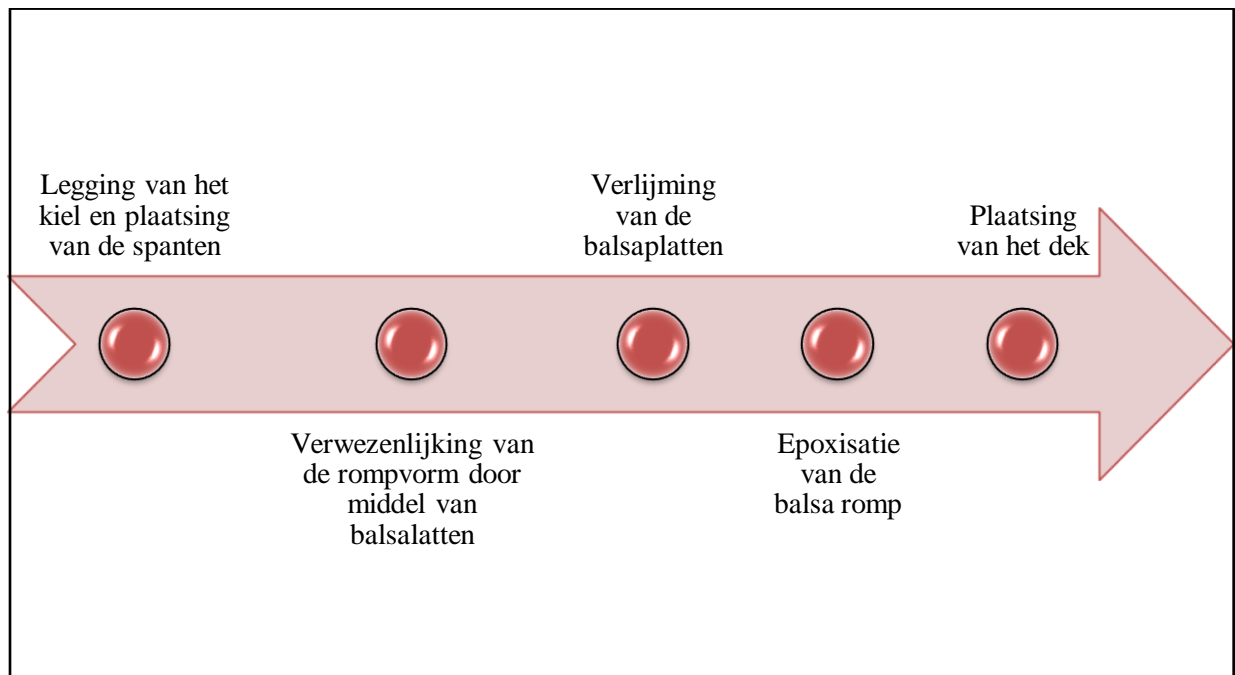
Figuren 5.1, 5.2 en 5.3 - Diverse waterverplaatsingen.

Figuur 5.1 toont de “Crystal Emerald” in het droogdok.

Figuur 5.2 toont de romp van het schip in ballast toestand.

Figuur 5.3 geeft een beeld van de romp in normale beladen toestand van het schip.

Zoals in deel 1.3.3 van deze masterscriptie werd vermeld, had Mr. Missart een andere bouwtechniek voorgesteld. Deze bouwtechniek ging enkel maar over de verwezenlijking van de romp. Door middel van de volgende figuur geven we een bondig overzicht van deze techniek:



Figuur 6 - Volgorde van de bouwetappes.

## 3.2 De etappes van het bouwen

### 3.2.1 Verwezenlijking van de spanten

De spanten werden gebouwd volgens de digitale plannen die het von Karman instituut getekend had. De eerste stap in de verwezenlijking van de spanten was het uitknippen van de plannen. De papiervorm werd daarna op triplex planken geplakt (zie foto 17). Met behulp van de bandzaag werden de vormen uitgezaagd. Een van de belangrijke punten hierbij was om niet te dicht bij de vorm te zagen. Dit om te voorkomen dat de papiervorm van het triplex los zou komen en om na het zagen het spant volgens de juiste vorm te kunnen bijshuren (zie foto 18).

De ruwe spanten werden met de roterende schuurmachine geschuurd om een perfecte vorm te krijgen (zie foto 19). Voor de inkepingen van de spanten werd de lintzaag of figuurzaag gebruikt. Veel aandacht werd aan de verwezenlijking van de centrale inkeping besteed, omdat de uitvoering moeilijker bleek te zijn dan de andere inkepingen.



Foto's 17, 18 en 19 - Het opplakken van de spantvormen op de triplex plank. Het fijn zagen en fijn schuren van een spant.

### **Ongewenste problemen en aandachtspunten**

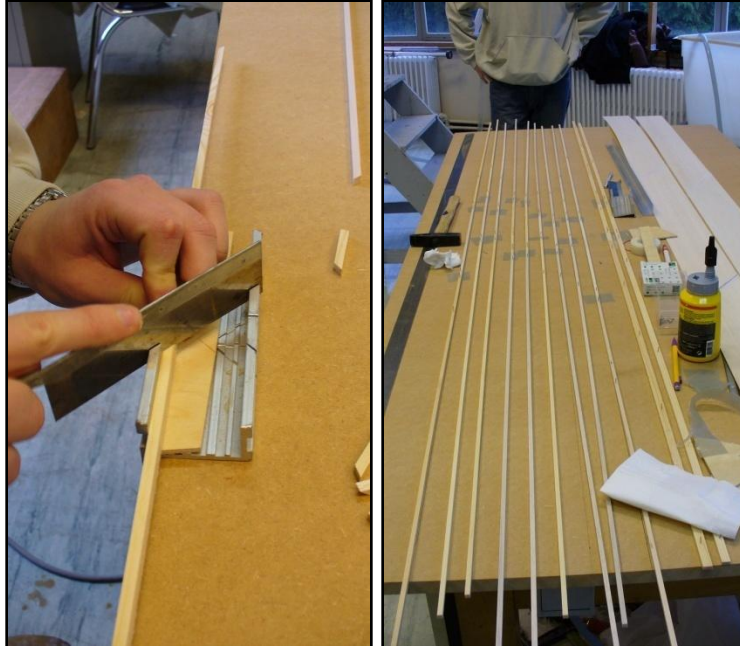
Tijdens deze etappe deden er zich geen noemenswaardige problemen voor.

Het punt waar er veel aandacht aan besteed werd was het fijnschuren van de spanten en het zagen van de inkepingen. Het is nuttig na te gaan of de balsalatten wel degelijk in de inkepingen passen. Pas als alle onnauwkeurigheden weggeschuurd zijn, is het spant klaar om te worden verlijmd.

### **3.2.2 Plaatsing van de spanten op de kiel**

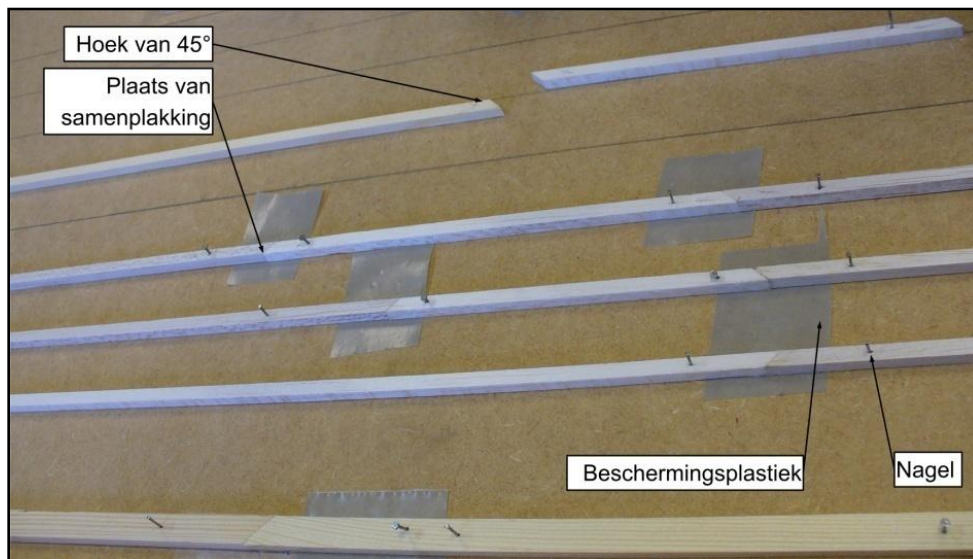
Voor de kiel hadden we een lat van ten minste twee meter nodig. Gezien de dennenlatten maar 1 meter lang waren moesten wij drie van die latten gebruiken om de volledige lengte van het schip te bouwen (2m van de totale lengte plus een zekerheidsmarge). Deze drie latten werden gezaagd en samengeplakt volgens een bijzondere techniek. De einden van de latten werden onder verstek van 45° gezaagd (zie foto 20). Deze methode werd gebruikt om het opschuiven van deze latten te vermijden. Daarna werden deze latten met nageltjes op de werkbank bevestigd. Met houtlijm werden ze dan samengelijmd (zie foto 21 en figuur 7). Onder het bevestigingspunt van twee latten werd een kleine beschermingsplastic geplaatst dit om te voorkomen dat de latten aan de tafel zouden kleven.





Foto's 20 en 21 - Het zagen van de latten onder een hoek van 45° en een aantal afgewerkte latten.

Op foto 21 is te merken dat deze techniek niet alleen voor de kiel gebruikt werd maar ook voor alle andere latten die op lengte gebracht werden.



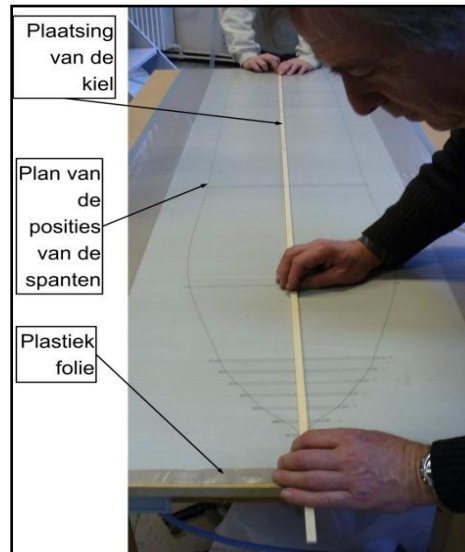
Figuur 7 - Beschrijving van de methode.

Eens de kiel klaar was, werd met de bouw van het model echt begonnen.

De plannen werden op de werktafel bevestigd en met een plasticfolie overtrokken. Die film beschermt de plannen tegen mogelijke beschadiging door het epoxyhars.



De dennenhouten latten van de kiel werden in de goede positie op het plan geplaatst en met nageltjes bevestigd.



Figuur 8 - Plaatsing van de kiel.

De spanten werden eerst op de kiel geplaatst, zonder epoxy of lijm. Dit om zeker te zijn dat alle onderdelen in een goede positie staan en dat de inkepingen perfect op maat waren. Na een laatste controle werden de spanten verlijmd en met epoxy bestreken.



Foto 22 - Het nazien van de inkepingen van de spanten.

De inkepingen van de spanten werden met epoxy bestreken. Met behulp van winkelhaken werden de spanten perfect in het verticale vlak op de kiel geplaatst. Eens in de goede positie konden we die met roze ZAP lijm (vloeibare lijm) ogenblikkelijk aan de kiel bevestigen. De nog

openstaande voegen werden met de groene ZAP lijm (meer kleverig) gedicht. Na een twintigtal minuten begon de structuur steviger te worden en kon er verder gebouwd worden. Na vierentwintig uur was het epoxy volledig uitgehard.

### **Ongewenste problemen en aandachtspunten**

De spanten die op de uiteinden van het schip moesten geplaatst worden, zijn te klein om een centrale inkeping te krijgen. Die spanten werden direct op de kiel bevestigd. Door middel van de balsalatten die op de zijkanten zullen komen, worden deze spanten op hun plaats gehouden.

Op de plannen was de boeg van de voorsteven niet duidelijk getekend. Met andere woorden het plan gaf niet de correcte vorm van het voorschip weer. Door continue metingen van de lengte van het model uit te voeren, zijn we toch tot een nauwkeurige realisatie van het voorschip gekomen.

#### **3.2.3 Plaatsing van de zijdelingse steunplaten van de romp**

De balsalatten werden aan de spanten door middel van epoxy, roze en groene ZAP lijmen bevestigd. Deze techniek is dezelfde als deze gebruikt om de spanten aan de kiel te bevestigen. Om zeker te zijn dat de balsalatten de goede vorm zullen aannemen en om aan die latten meer flexibiliteit te geven, werden die met water bevochtigd. Volgens Mr. Missart is het ook mogelijk om de latten met aceton te bevochtigen. Na bevestiging werd het uitstekende deel van de latten afgezaagd en geschuurd om zo een perfecte vorm van de romp te bekomen.



Foto's 23, 24 en 25 - Bevestiging van de balsalatten.



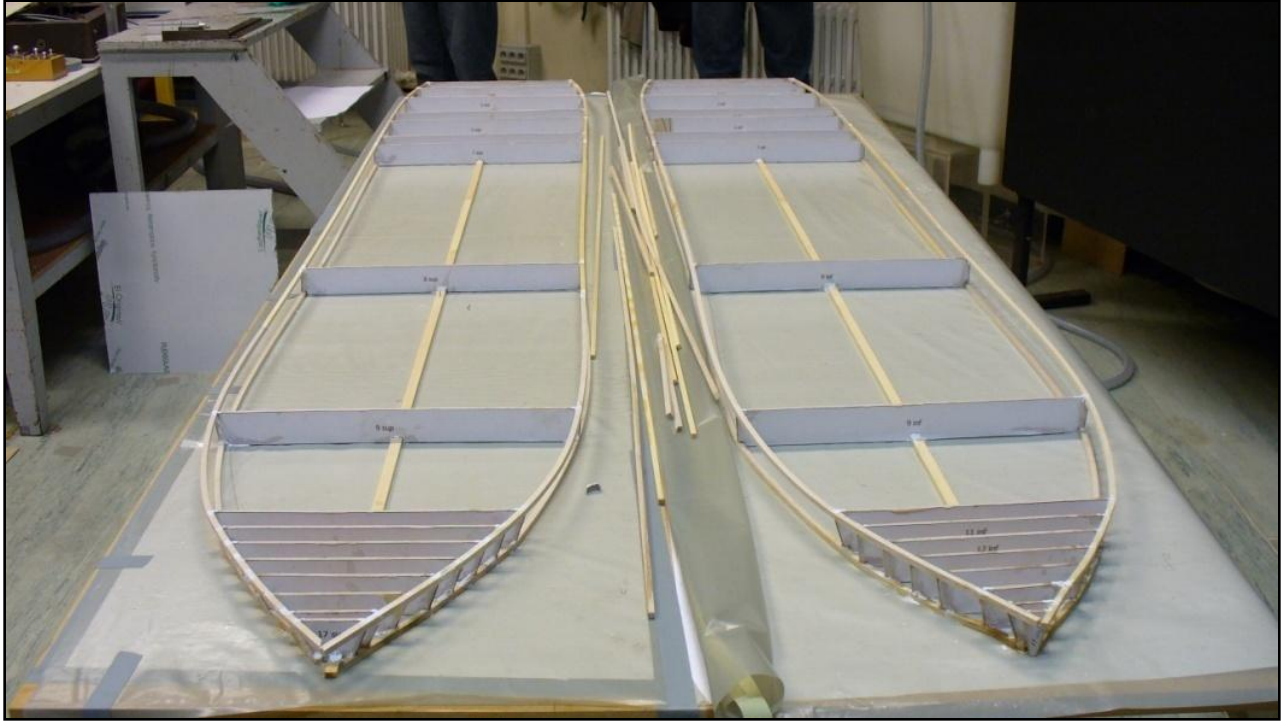


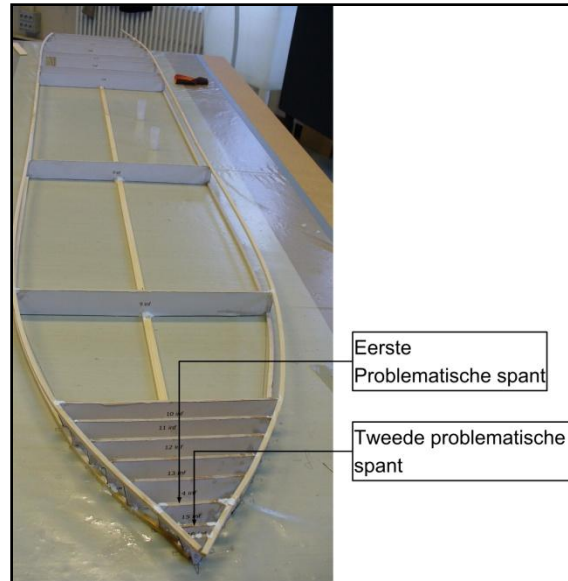
Foto 26 - Eindresultaat van de plaatsing van de balsalatten.



Foto 27 - Opeenstapeling van de twee rompen.

## Ongewenste problemen en aandachtspunten

Soms konden de balsalatten de spanten niet raken. Bijvoorbeeld: een van de spanten van de voorsteven was te smal om met de balsalatten in aanraking te komen. Daardoor hebben we de lat niet aan het spant bevestigd maar we hebben toch geprobeerd om die zo dicht mogelijk naar het spant te duwen en elders te bevestigen.



Figuur 9 - De problematische spanten.

Sommige spanten hadden te kleine inkepingen om de gehele breedte van de balsalat op te vangen. Dit probleem deed zich voor bij de spanten van het voorschip. Om dit probleem op te lossen, hebben we de inkepingen een beetje groter gemaakt en/of de latten werden wat geschuurd.

Een van de belangrijkste moeilijkheden was de verwezenlijking van de goede vorm van de voorsteven. Inderdaad, waren er geen plannen van de boeg beschikbaar. De steven van het schip werd afgewerkt onder een hoek van  $60^\circ$  door middel van een balsalat.

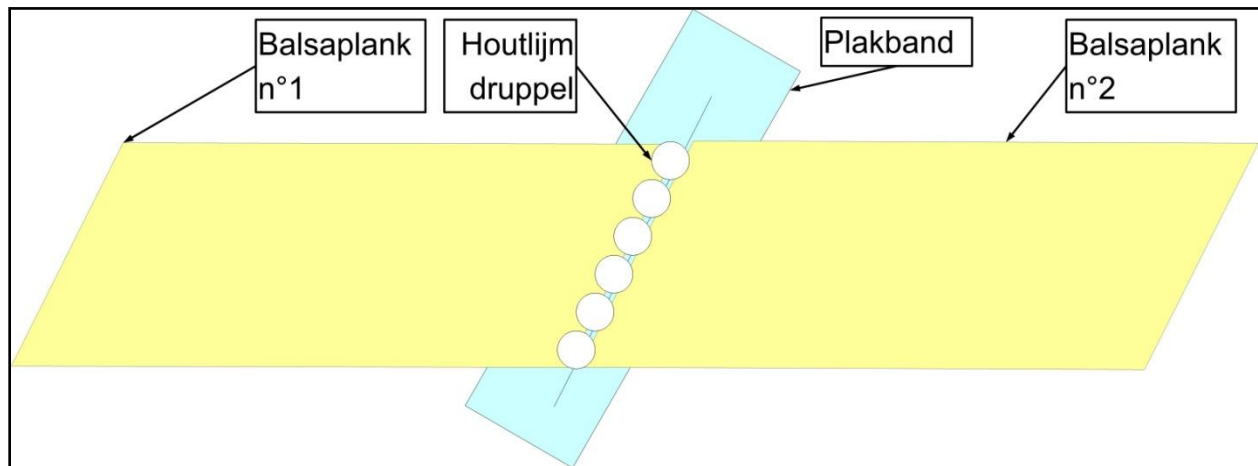


Figuur 10 - Balsalat met een hoek van  $60^\circ$ .

### 3.2.4 Het leggen van de romp

Om de beplating van de romp van het schip te plaatsen, hebben we de volgende techniek gevolgd. De twee rompen werden op elkaar geplaatst. Door middel van scotch hebben wij die twee delen vastgemaakt. De zijdelingse latten werden schoon geschuurd om de laatste onvolmaaktheden te verwijderen. Bij het voorschip was het noodzakelijk om de latten schuin te schuren. Daardoor kon de beplating zich perfect aan de balsalatten aanpassen.

De balsaplanken die de beplating zullen vormen, werden aan elkaar gelijmd. Om de planken bij elkaar te houden gedurende de droogtijd van de houtlijm werden de planken met plakband bij elkaar gehouden. Bij het voor- en het achterschip moesten wij nog een extra plank boven de dubbele plank zetten. Dit om de vrijboorden van de voorsteven en accommodatie te verwezenlijken.



Figuur 11 - Verlijming van twee balsaplanken.

Na de verwezenlijking van de balsaplanken in de hoogte en in de lengte werden die op het schip geplaatst en gelijmd door middel van roze en groene ZAP lijm. Om meer flexibiliteit aan deze planken te geven werden die bevochtigd.



Foto's 28 en 29 - Het verlijmen van de rompbeplating op de steunlatten.

Na het verlijmen van de platen aan de romp werd de beplating op de juiste maat gesneden en geschuurd. Hier gebruikte we een cutter en een plooibare metalen lat als geleiding bij het snijden. Het moeilijkste was het snijden van het vrijboord van het voorschip omdat die constant vergroot. Deze etappe werd beëindigd door de beplating bij de achtersteven op maat te snijden. Op die manier zijn wij tot een mooi voor- en achterschip gekomen.

De afgewerkte romp moest nu terug in twee delen gesplitst worden en werd daarom horizontaal in twee gesneden. Door het blad van de cutter tussen het bovenste en het onderste geraamte te plaatsen konden wij de vorm van het schip volgen.

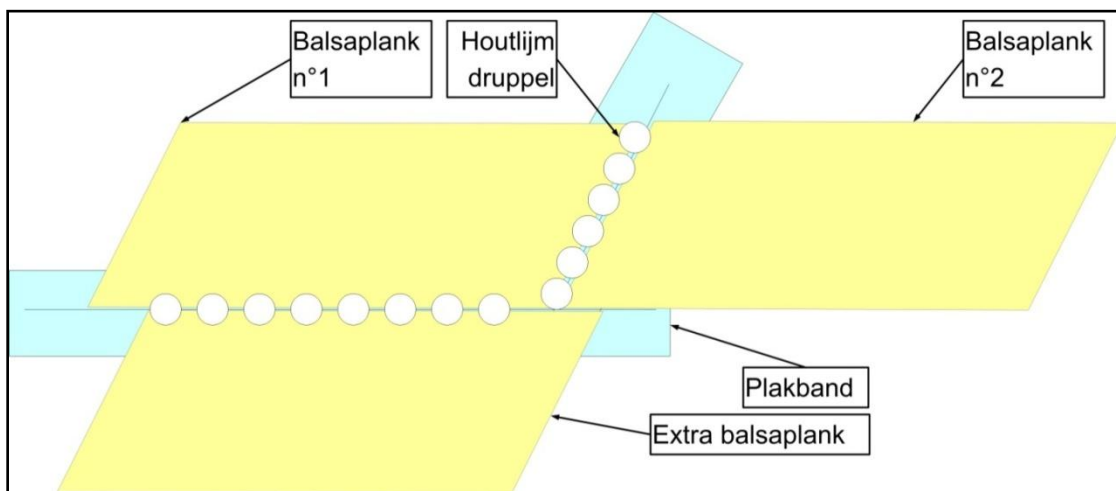


Foto's 30, 31 en 32 - Einde van de plaatsing van de beplating. Het snijden van de romp in twee delen. De twee delen van de romp.



## Ongewenste problemen en aandachtspunten

Wanneer we de beplating op het geraamte van het schip (kiel, spanten, balsa en dennenlatten) legden, zagen we dat deze beplating de vormen van het schip niet altijd aannam. Bij de boeg bijvoorbeeld verliep de beplating naar boven (op de foto 28 is dit fenomeen merkbaar). Om dit probleem op te lossen hadden we nog bijkomende balsaplanken onder de bestaande beplating aangebracht. Deze moeilijkheid werd tijdens het bouwen van de bakboordzijde opgemerkt. Bij het verwezenlijken van de stuurboordzijde hadden wij rechtstreeks een extra balsaplaat voorzien om het gehele geraamte in eenmaal te bedekken.



Figuur 12 - Bevestiging van een extra balsaplaat voor de stuurboordzijde.

Het tweede grote aandachtspunt van deze etappe was dat de balsaplanken een dikte van 1.5mm hadden. Daardoor waren ze erg breekbaar en was het absoluut noodzakelijk om die met de nodige voorzichtigheid te behandelen.

### 3.2.5 Epoxysatie en versteviging van het model

De twee rompen van het schip werden met epoxy verstevigd. Epoxy is een samenstelling van een hars en een harder. In deze mengeling moeten de verhoudingen van de twee componenten gelijk zijn. Een temperatuur van 18°C is vereist voor een correcte droging en harding.

Deze etappe werd in drie fases uitgevoerd.

Eerst werd de beplating met een dunne laag epoxy bestreken. Dit werd met een penseel gedaan (zie foto 33). Daarna werden de glasvezels geplaatst (zie foto 34). De absorptie van de



laag door de vezels moest zichtbaar zijn (zie foto 35). Na deze plaatsing werden de vezels met een klein penseel aangedrukt (zie foto 36). Dit werd gedaan om zeker te zijn dat mogelijke luchtballen die zich onder de vezels bevonden verdreven werden.

Binnenin de romp werden ook verstevigingen aangebracht met glasvezel.



Foto's 33 en 34 - Het bestrijken met epoxy. Plaatsing van de vezels.



Foto's 35 en 36 - Absorptie van het epoxy door de vezels. Het verdrijven van de luchtballen.



Foto 37 - Einde van het epoxysatieproces.

## Ongewenste problemen en aandachtspunten

De temperatuur is een van de meest kritische factoren bij het verwerken van epoxy. Deze factor geeft de minimale droogtijd aan nodig om tot de grootste sterkte te komen. In ons geval was de temperatuur altijd te laag.

Het voorschip was een moeilijk gedeelte. De voorsteven heeft namelijk een vrij scherpe hoek wat het niet gemakkelijk maakt om daar met glasvezel te werken. De glasvezels hadden de neiging om een bult te vormen. Om toch een mooie voorsteven te bouwen gebruikten wij een buigzamer glasvezel.

### 3.2.6 Bijwerken

Na de droging van de romp zijn we met het schuren begonnen. Schuren was noodzakelijk om een gladde romp te verwezenlijken.

Soms moesten enkele gedeelten verbeterd worden. De verbeteringen werden uitgevoerd met behulp van mastiek. De herstelde zones werden nog eens extra geschuurd.



Foto's 38, 39 en 40 - De twee delen van de romp. Plekjes waar het schuren noodzakelijk was.

### 3.2.7 De plaatsing van het dek

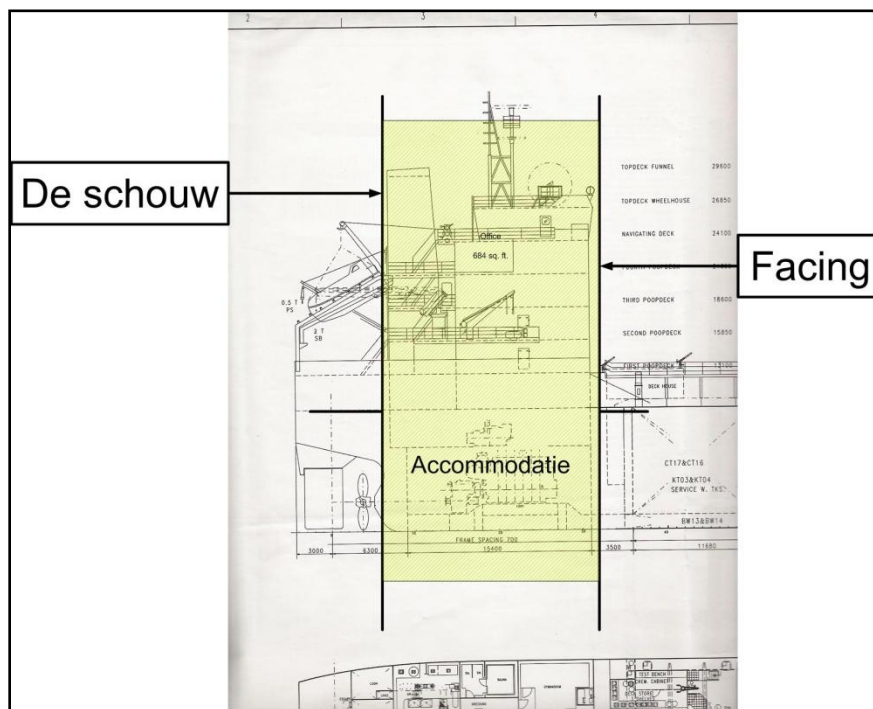
Om het dek te bouwen moesten wij eerst afmetingen nemen. De genomen afmetingen werden op een triplex plank hertekend om de vorm ervan te bepalen. De planken werden gezaagd en geschuurd om tot de juiste vorm te komen.

# Hoofdstuk 4: Het bouwen van de accommodatie

## 4.1 Inleiding

Het tweede deel van de bouw van het model was de verwezenlijking van de accommodatie. De accommodatie van het schip is een belangrijk onderdeel van het model omdat het een grote hindernis is voor de luchtstroming, en er daardoor veel wervelingen rond het schip ontstaan.

De accommodatie wordt als volgt omschreven: de structuur beginnende van de “facing” tot de achterlijn van de schouw. Figuur 13 toont de accommodatie.



Figuur 13 - Plan van de accommodatie.

## 4.2 De bouwtechniek

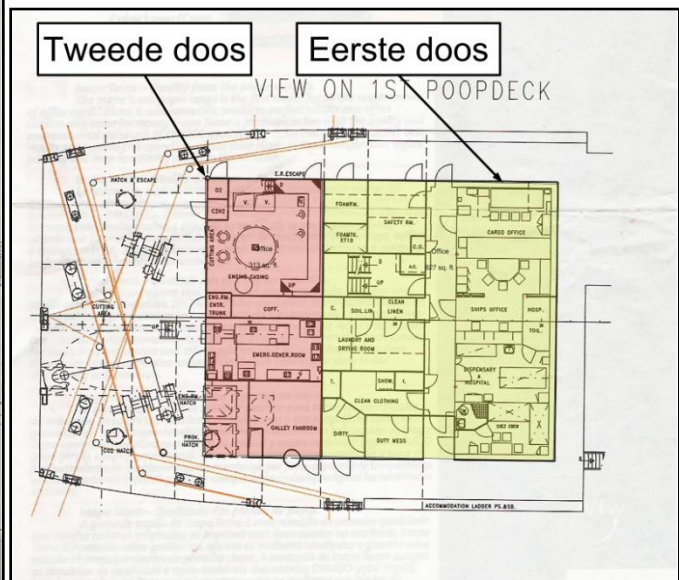
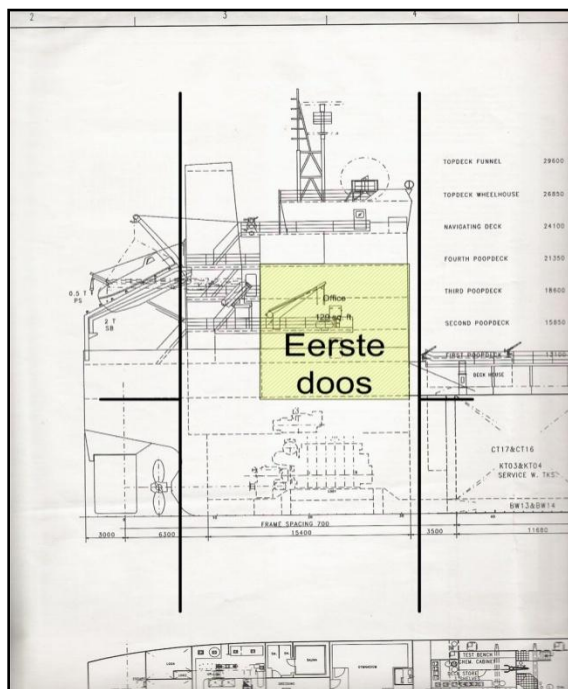
### 4.2.1 Basisidee van de bouwtechniek

De analyse van de plannen van de accommodatie maakte het duidelijk dat de accommodatie uit verschillende grote rechthoeken samengesteld is. Daarom beslisten we om de accommodatie van het model uit verschillende dozen op te bouwen. Die dozen zijn gelijk aan

rechthoekige delen opgemerkt op de plannen. De accommodatie werd in 4 dozen gesplitst, waarvan een overzicht gegeven wordt in de onderstaande tabel.

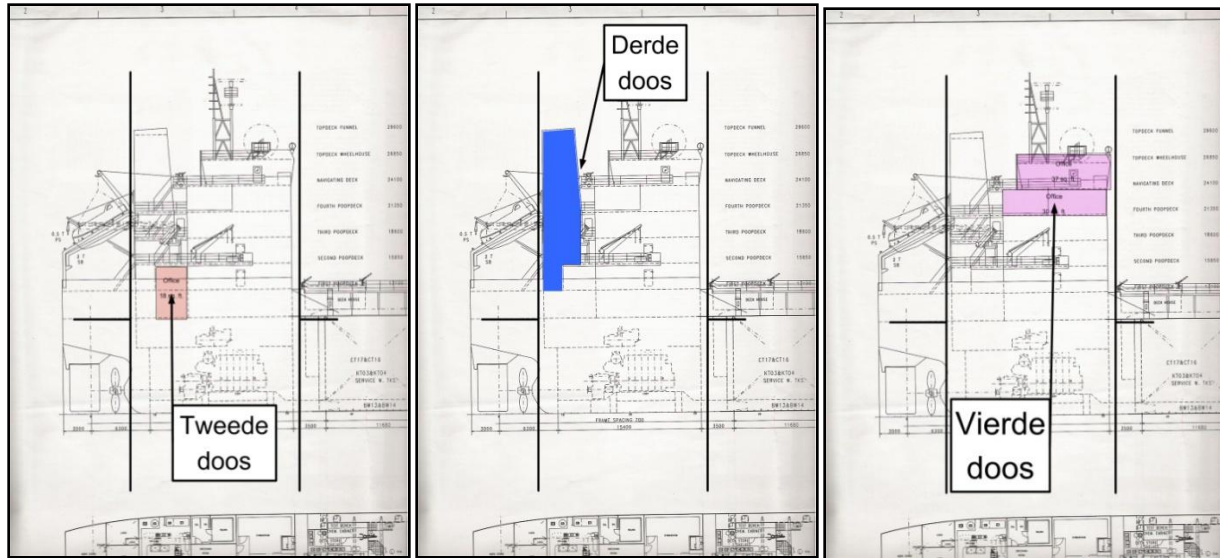
	<b>Beginpunt</b>	<b>Eindpunt</b>	<b>Hoogte</b>
<b>Eerste doos</b>	“Facing”	Lijn gevormd door: <ul style="list-style-type: none"> <li>• “galley fan room”,</li> <li>• “emergency generator room”</li> <li>• “schouw”</li> </ul>	Tot het derde “achterdek” inbegrepen.
<b>Tweede doos</b>	Lijn gevormd door: <ul style="list-style-type: none"> <li>• “galley fan room”,</li> <li>• “emergency generator room”</li> <li>• “schouw”</li> </ul>	Achterste uiteinde van de accommodatie	Tot het eerste “achterdek” inbegrepen.
<b>Derde doos</b>	Schouw	Schouw	Totale hoogte
<b>Vierde doos</b>	“Facing”	« Navigatiebrug »	“Deerde achterdek” tot “monkey island”

Tabel 4 - Reikwijdte van de dozen.



Figuren 14 en 15 - Verbeelding van de eerste en tweede dozen.

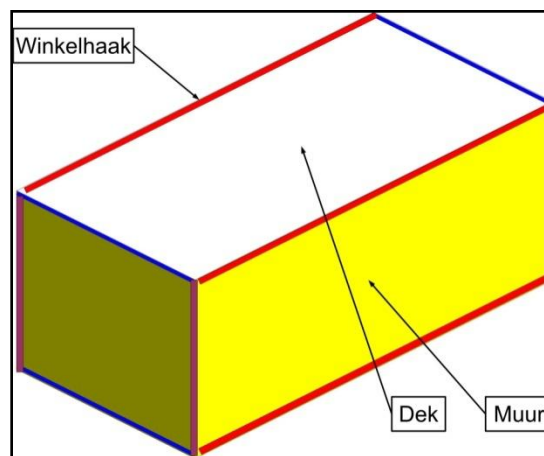




Figuren 16, 17 en 18 - Verbeelding van de tweede, derde en vierde doos.

#### 4.2.2 Verwezenlijking van de eerste doos

Voor de verwezenlijking van de dozen hadden Cédric en ikzelf beslist om muren te zagen en die met elkaar door winkelhaken te bevestigen. Deze winkelhaken werden tussen twee muren met een hoek van  $90^\circ$  geplaatst. Deze winkelhaken hadden steeds dezelfde lengte als de muren, behalve voor deze die vertikaal aan de “facing” en aan de achterkant van de accommodatie geplaatst werden. Deze winkelhaken waren 2 cm korter dan de lengte van de muren om de plaatsing van de bovenste en onderste winkelhaak mogelijk te maken. Hier onder staat een summiere afbeelding van deze techniek.



Figuur 19 - Componenten van een doos.

Om zeker te zijn dat de afmetingen van de verschillende muren en winkelhakken juist waren, hebben wij de onderdelen eerst “ koud” samengesteld, dit wil zeggen dat we eerst zonder lijm hebben gewerkt. Deze kleine test heeft aangetoond dat elk onderdeel precies paste.

Het was nodig om een perfecte volgorde van de bouw te respecteren om zeker te zijn dat alle onderdelen van de maquette steeds goed toegankelijk bleven voor de verdere opbouw.

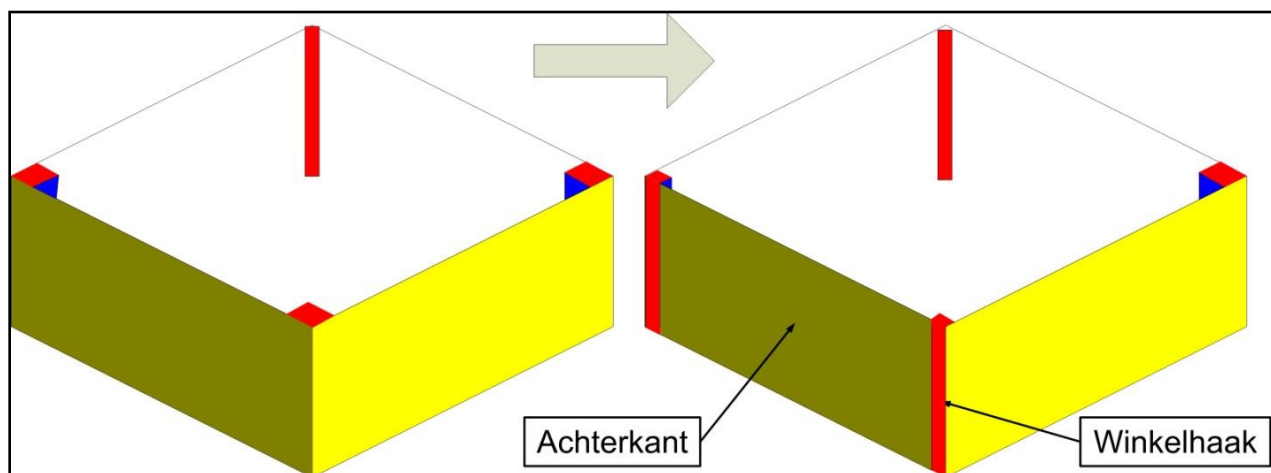
Om de sterkte tussen de muren en de winkelhaken te verzekeren, werden de winkelhaken met epoxy bestreken. Alle onderdelen werden met ZAP lijm bevestigd

Na meting van de doos hebben we gemerkt dat deze te groot was. Inderdaad, de 3 mm dikte van de gebruikte planken waren we vergeten.

### 4.2.3 Aanpassing van de lengte van de eerste doos

Om dit probleem op te lossen hadden wij twee mogelijkheden. Ofwel moesten wij een nieuwe doos bouwen ofwel was het mogelijk om onze doos aan te passen. Wij kozen voor de tweede oplossing. Daarom hebben wij de volgende techniek gebruikt.

Vier gaten werden in de achterste muur geboord. Het zaagblad van de “wipzaag” werd in die gaten geplaatst. De achterste muur werd dan op maat gezaagd. Met deze techniek hadden we direct een muur met de goede afmetingen die in de doos werd geschoven en op de juiste maat bevestigd werd. In de “muur” waren er nog vier gaten van de boormachine. Om die te dichten hebben wij een mengsel van houtlijm en houtzaagsel gemaakt. Deze mengeling is minder vloeibaar dan gewone houtlijm en voor deze toepassing beter geschikt.



Figuur 20 - Aanpassing van de lengte van de eerste doos.



Foto 41 - De eerste doos.

#### **4.2.4 De navigatiebrug en het probleem van de eerste doos**

De afmetingen van de “navigatiebrug” werden op een triplexplank getekend en daarna uitgezaagd.

Na een betere en diepere analyse van de foto's van de “Crystal Emerald” en van de doorsneden van de “navigatiebrug” hebben we gemerkt dat onze eerste doos niet volledig overeenstemde met de werkelijkheid. Het probleem was dat de bakboordmuur van de accommodatie van de “Crystal Emerald” niet in rechte lijn van de “facing” naar de achterkant liep. Dit probleem was niet oplosbaar zonder ernstige ingrepen op de reeds geconstrueerde doos. Daarom was het noodzakelijk om een nieuwe accommodatie te bouwen.

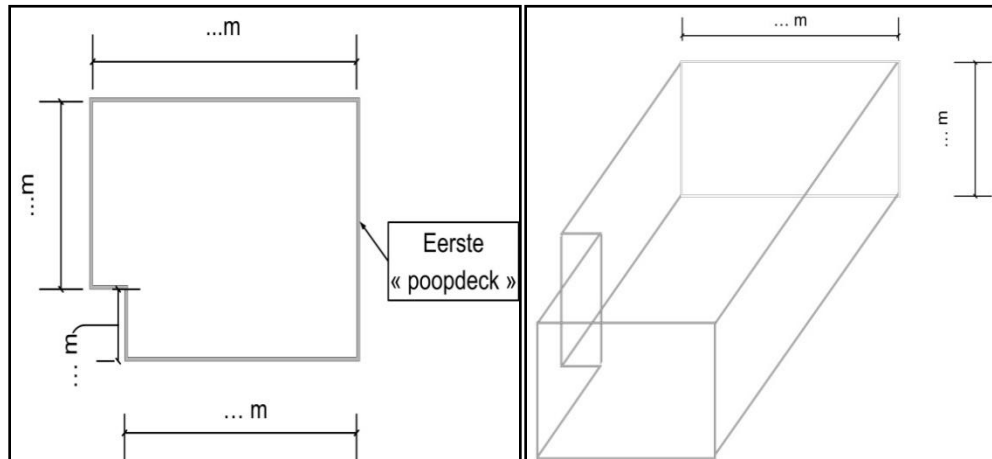
#### **4.3 Het opnieuw beginnen van de accommodatie**

Door de middelmatige kwaliteit van onze eerste doos en van zijn bouwtechniek hebben we beslist dat de berekeningen niet meer op de plaats van de bouw moesten gebeuren zoals eerder gedaan voor onze eerste doos. We hadden ons voorgenomen om de plannen die we van onze promotor en aan boord van de “Crystal Emerald” kregen grondiger te bestuderen vooraleer tot verdere bouw over te gaan. Bijkomend hebben we de foto's bestudeerd die in het droogdok van de “Crystal Emerald” werden genomen.

Om een nieuwe accommodatie te bouwen hebben we al de nodige plannen op A3 papier hertekend. Daarop hebben we de afmetingen van elke onderdeel geschreven. We beschouwen hier de muren en de dekken als onderdelen. Dankzij deze etappe hebben we alle details van de accommodatie kunnen noteren.

In onze hertekende plannen hielden we nu wel rekening met de dikte van 3 mm van de planken die we vroeger niet in beschouwing hadden genomen. Om de juiste afmetingen van de

constructie te respecteren werd er bijzondere aandacht besteed aan de verbindingpunten van de muren. Dit om te vermijden dat een muur te ver ging of te kort zou zijn.



Figuren 21 en 22 - Nieuwe plannen voor de accommodatie.

Dankzij de hertekende plannen hebben we gemerkt dat een andere techniek van bouwen mogelijk was: “de geprefabriceerde bouwtechniek”. Deze techniek zal in het volgende deel van de tekst verklaard worden. Voor deze techniek wordt de accommodatie in twee grote delen verdeeld: het eerste deel was de “ruwbouw” en het tweede deel waren vier speciale stukken van de accommodatie.

### 4.3.1 De ruwbouw

#### 4.3.1.1 Voorbereiding van het nodige materiaal en korte uitleg over de geprefabriceerde bouwtechniek

Het principe is het volgende: voor elk verdieping van de accommodatie zagen we op voorhand de muren, de dekken en een algemene “facing”. Daarna worden die muren op de dekken bevestigd door middel van lijm. Om tot op dit punt te raken gebruiken we de afmetingen die op onze hertekende plannen vermeld worden. Deze afmetingen worden op de 3mm triplexplanken uitgezet en de stukken worden uitgezaagd. Met het geheel van muren voor een verdieping maken we kleine pakketten. Dit werd gedaan om de muren niet te verliezen en om die niet met muren van een andere verdieping te verwisselen.



De posities van de muren werden op de dekken uitgezet. Daarmee konden wij zien tot welk punt een muur liep en ook nagaan dat de lengte of afmetingen correct waren.

Na deze laatste controle hebben we een mengsel epoxy-harder klaar gemaakt.

De geprefabriceerde bouw werd verdieping per verdieping uitgewerkt. Eerst werd met het “hoofd dek” begonnen. Daarna werden de muren op het “hoofd dek” bevestigd en daarop het “eerste achterdek” geplaatst. Deze techniek werd tot het “vierde achterdek” herhaald. We zijn daar met deze techniek gestopt. Want het bouwen van het navigatiedek leek ons niet eenvoudig met deze techniek. De bouw van het “navigatie dek” zal dus later beschreven worden.



Foto 42 - Gebruik van de geprefabriceerde bouwtechniek.

#### **4.3.1.2 Praktische verwezenlijking van de geprefabriceerde bouwtechniek**

Het eerste deel van de geprefabriceerde bouw werd begonnen met de bevestiging van de muren van het “hoofddek”. Daarvoor hebben we de onderste kant en de kanten in aanraking met andere muren met epoxy bestreken. De verticale stand van de muren werd gecontroleerd met behulp van een winkelhaak. Om die muren snel te bevestigen hebben wij ZAP lijm gebruikt. De accommodatie werd versterkt met houten winkelhaken op de plaats waar twee muren een hoek van 90° vormden. Die winkelhaken waren een beetje korter dan de hoogte van de muren en hadden een rechthoekige vorm van 2cm op 2cm. Die werden ook met epoxy bestreken. Na de verharding van het epoxy en van de ZAP lijm hebben we de voegen met houtlijm gedicht.

Na verificatie dat onze muren goed in winkelhaak op het dek stonden werd het bovenste dek geplaatst. Eens dat het dek goed in positie was gebracht hebben wij die tijdelijk aan de rest van de accommodatie met spanvijzen bevestigd. De twee delen werden goed samen bevestigd en in hun geheel omgekeerd. Dit om het lijmen te vergemakkelijken. De raakvlakken van de twee

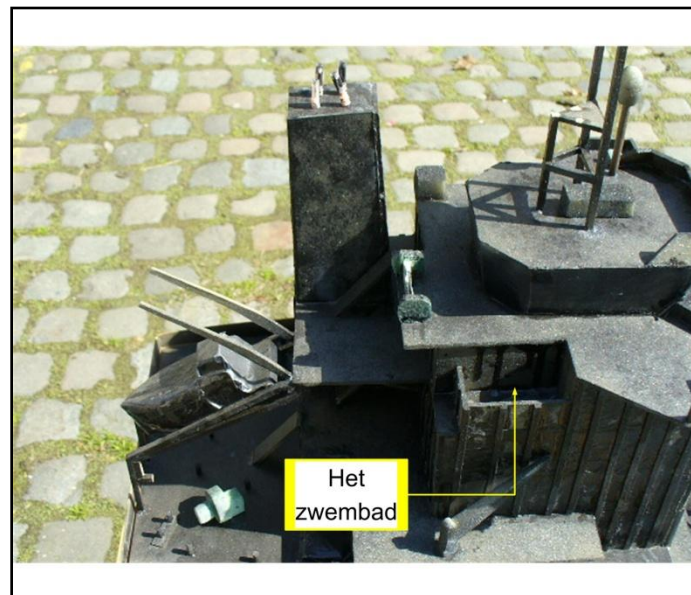
delen werden met ZAP lijm bestreken en na verharding werden de spanvijzen weggenomen. Door middel van een stokje van 20 cm konden wij, daar waar nog nodig, houtlijm binnen de accommodatie toevoegen om openingen te dichten

Soms waren er kleine spleten tussen de muren en het bovenste of onderste dek. Dit was te wijten aan een onnauwkeurige verzaging of schuring van de muren. Deze openingen werden met een mengsel van zaagsel en houtlijm gedicht. Na de droging van dit mengsel hebben we de delen licht opgeschuurd. We hebben dit mengsel ook gebruikt om de voegen tussen de muren en hun dekken te dichten.

Na de beëindiging van de ruwbouw moesten wij nog vier grote delen bouwen. Deze vier delen zijn: het zwembad, de schouw, de “navigatiebrug” en de traphal.

### 4.3.2 Het zwembad

Het zwembad bevindt zich aan de stuurboordzijde van het “vierde achterdek”. De hoogte van het zwembad is gelijk aan de helft van een gewone muur. Om het zwembad te bouwen hebben we dezelfde bouwwijze als voor de ruwbouw gevolgd.



Figuur 23 - Het zwembad.

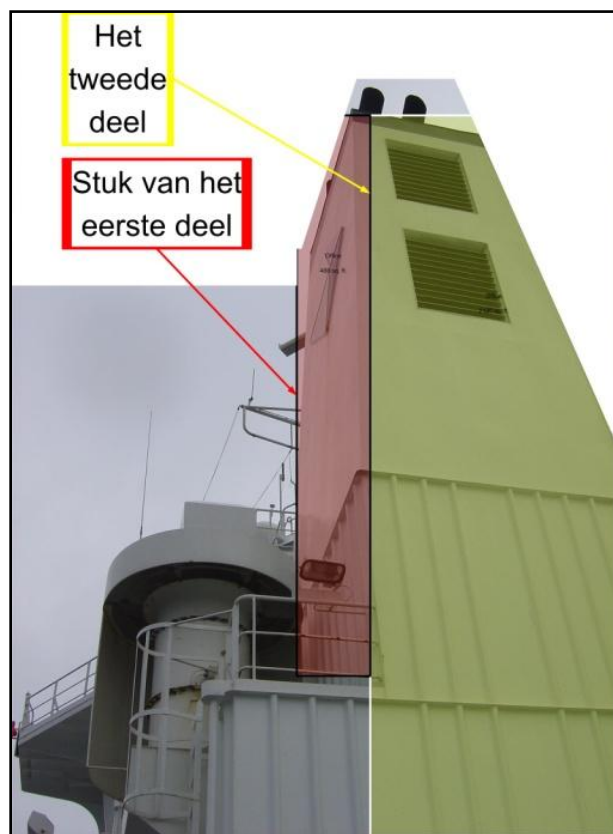
### 4.3.3 De schouw

De schouw kan in drie delen worden opgedeeld.

Het eerste deel is samengesteld uit de bakboord- en stuurboordzijde van de schouw en uit de muren van de verdieping. Er is een versmalling van het deel dat van het “vierde achterdek” tot boven loopt.

Het tweede deel is de achterkant van de schouw. Die begint aan het “eerste achterdek” en gaat tot het bovenste punt van de schouw. Dit onderdeel heeft een rechthoekige vorm tot het “vierde achterdek”. Daarna is er een versmalling van het laatste onderdeel.

Het derde en laatste deel is gevormd door een onderdeel dat zich aan de voorkant bevindt. Het begint bij het “vierde achterdek” en heeft een rechthoekige vorm. De verschillende versmallingen die hier boven vermeld werden geven het bovenste deel van de schouw een schuine vorm naar achter.

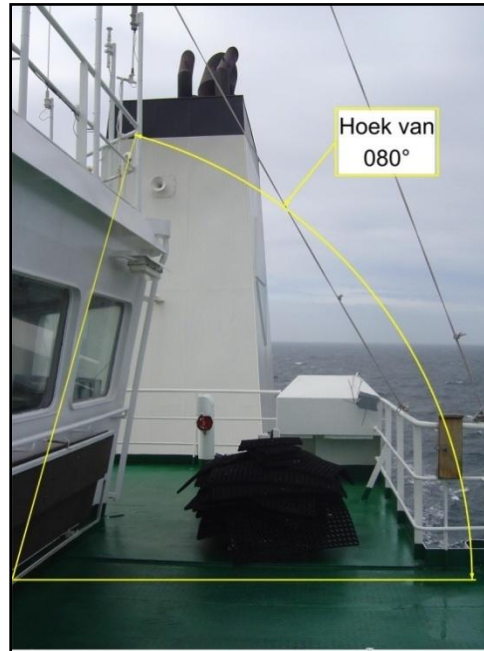


Figuur 24 - Stuk van het eerste deel en tweede deel van de schouw.

#### 4.3.4 Het navigatiedek

Het navigatiedek hebben we kunnen recupereren uit onze eerste constructie. Door middel van de plannen en van de foto's hebben we vastgesteld dat dit dek perfect bruikbaar was.

De bouw van de muren van het “navigatie dek” leek ons een moeilijke opdracht te zijn. Een belangrijk probleem was dat de muren een hoek van  $80^\circ$  met het dek vormden. Verschillende technieken werden dan geprobeerd om tot een aanvaardbaar resultaat te komen.



Figuur 25 - Het navigatie dek en de brug.

In het volgende deel van deze tekst zullen we de verschillende gebruikte technieken uitleggen.

##### 4.3.4.1 Eerste bouwtechniek van de “navigatiebrug”

De eerste manier van bouwen was de geprefabriceerde bouwtechniek. Deze techniek is dus dezelfde als die gebruikt werd bij de bouw van de basis van de accommodatie. De lengten van de muren werden op de plannen gevonden. Terwijl voor de muren de verticale maat, op de plannen aangegeven, verbeterd dienden te worden rekening houdende met de hoek van  $80^\circ$ .

Aan de basis van de muren werden wijkhaken geplaatst (zowel aan de bovenste als aan de onderste basis van de muren). Deze wijkhaken hadden lengten gelijk aan deze van de

muren. Op een van hun kanten werd een hoek van 80° geschuurd. Met behulp van de schuurmachine, met onder een hoek instelbare schuurtafel, werden de winkelhaken geschuurd.



Foto 43 - Hoek instelbare schuurtafel.

Eens de muren en de winkelhaken uitgezaagd, hebben wij de stukken fijngeschuurd. Daarmee konden we zien dat de muren perfect op de winkelhaken pasten. Om geen risico's met het al gezaagde navigatiedek te nemen hebben we beslist om eerst de winkelhaken aan de muren te lijmen. Daarna hebben we alles op het navigatiedek geplaatst om te zien of alles in orde was. We stelden vast dat de “navigatiebrug” niet mooi was. Vervolgens hebben we het dek van het “monkey island” erop gelegd. Bij nader toezicht bleek echter dat het geheel niet horizontaal stond en niet voldeed. Een andere manier van bouwen was aangewezen.

#### **4.3.4.2 Tweede bouwtechniek van de “navigatiebrug”**

We waren er van overtuigd dat de tweede techniek minder onderdelen moest bevatten. Want hoe meer onderdelen er zijn, hoe moeilijker het is om alles goed samen te brengen. Na de inventarisatie van ons materiaal hebben we gezien dat er nog een groot paneel van geëxpandeerd polystyreen beschikbaar was. Dit paneel had een dikte van 5 cm en er was 4.7cm nodig. Door dit paneel te schuren tot 4.7 cm en door zijn kanten op een hoek van 80° te schuren kon normaal gezien een goed resultaat bekomen worden. Het schuren gaf geen bijzondere moeilijkheden. Bij het lijmen deden er zich wel problemen voor. Het doel was om het geëxpandeerde polystyreen “navigatiebrug” op het dek te lijmen. Zoals gewoonlijk hebben wij de ZAP lijm gebruikt. Maar een van de kenmerken van deze lijm is dat die het geëxpandeerde polystyreen oplost. We moesten dus een nieuwe “navigatiebrug” in het geëxpandeerde polystyreen schuren en een nieuw bindmiddel vinden. We hebben hier dan houtlijm gebruikt.

Na het checken van de afmetingen van het navigatiedek hebben wij die aan de accommodatie gelijkmd. De gebruikelijke techniek met epoxy, houtlijm en Zap lijm werd gebruikt.



Foto's 44 en 45 - Verwezenlijking van de "monkey bridge". Plaatsing van de "navigatiebrug".

#### **4.3.5 De traphal**

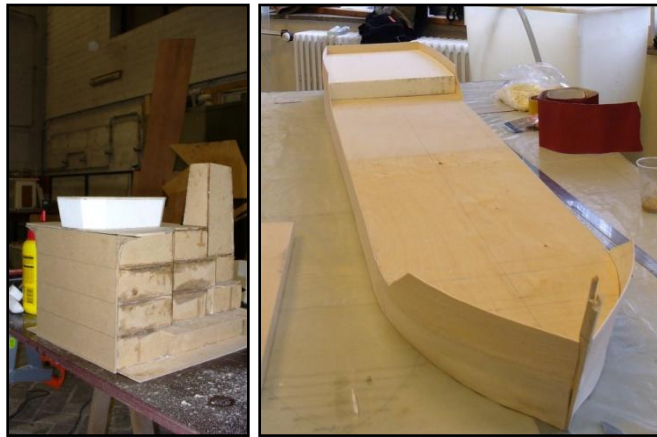
Voor het bouwen van de traphal hebben we de afmetingen zoals altijd op de plannen kunnen vinden. In de dekken werden de nodige openingen gezaagd voor de trapdoorgangen. Deze insneden werden met de "Dremel", uitgerust met een slijpschijfje, gemaakt. Deze Dremel had dus dezelfde kenmerken als een haakse slijpschijf maar wel met het voordeel dat hij kleiner en dus handiger is.



# Hoofdstuk 5: De details en de afwerking van het schaalmodel

## 5.1 Inleiding

Voor de testen in de windtunnel moest ons schaalmodel de werkelijkheid zo goed als mogelijk weergeven. Daarom waren de details en de afwerkingen van het model een belangrijke stap in de verwezenlijking van het model. Met “details” beschouwen we elk onderdeel dat op de “basissen” (de romp en de accommodatie) zal geplaatst worden. Terwijl met “afwerking” het schoonmaken van de basissen bedoeld wordt.



Foto's 46 en 47 - De twee basissen ( de accommodatie en de romp).

De bouw van de details en de afwerking van het model zijn tijdrovende activiteiten. Door het feit dat ze gewoonlijk klein zijn en daardoor breekbaar, hebben wij soms meerdere malen een onderdeel moeten herbouwen. Omdat we wisten dat de vervaardiging van de details veel tijd in beslag zou nemen, zijn wij direct na het einde van de redactie van onze bachelorscriptie met de bouw begonnen. Dit was omstreeks 15 mei. Het model moest klaar zijn voor de maand september. Vanaf midden mei tot midden juli hebben we aan het project gewerkt. Om het model definitief klaar te maken voor de testen hadden we nog een extra week in september nodig.

In dit hoofdstuk zullen we eerst over de afwerking en de details spreken. Een klein deel van de tekst zal daarna de verftechniek nader verklaren. Daarna lichten we de laatste werken toe die we op het von Karman Instituut hebben uitgevoerd.

## 5.2 De afwerking

Tijdens deze fase hebben wij elke basis schoongemaakt vóór de bevestiging van de details. Met “schoon maken” bedoelen wij het wegschuren van de onvolmaaktheden van de onderdelen.

Door het gebruik van epoxy en glasvezels waren er veel onvolmaaktheden rondom de romp van het model. Na de verwezenlijking van de epoxysatie van de romp hadden we de romp al geschuurd en schoon gemaakt. Deze eerste schuring was geen grondige schoonmaakbeurt en daardoor was er nog een definitieve afwerking van het model nodig. Bijvoorbeeld werden sommige steunpunten van het dek door het droog epoxystof vervuild. Met behulp van schuurpapier en van de Dremel werden deze onvolmaaktheden weggewerkt.

De accommodatie en het dek werden nog eens grondig geschuurd.

Om de accommodatie op de goede hoogte te plaatsen werd een blok geëxpandeerde polystyreen onder het “achterdek” geplaatst. De juiste vorm werd aan dit blok polystyreen gegeven door de kanten met de schuurmachine schuin te schuren.

## 5.3 De details

### 5.3.1 Voorbereidingen van de detailbouw

Een chemicaliëntanker is geen eenvoudig schip. Dit schip heeft veel uitrustingen aan dek, zoals de onderstaande foto's aantonen. Door deze ingewikkelde constructie wisten we vanaf het begin dat het bijna onmogelijk zou zijn om alle uitrustingen op een schaal van 1/56<sup>e</sup> te bouwen. Daarom hebben wij de mening van de medewerkers van het von Karman Instituut gevraagd. Zij hebben ons gevraagd een zeker aantal basisdetails te bouwen, die we hierna zullen bespreken. We hebben toch wel geprobeerd om nog iets meer details te bouwen dan gevraagd.

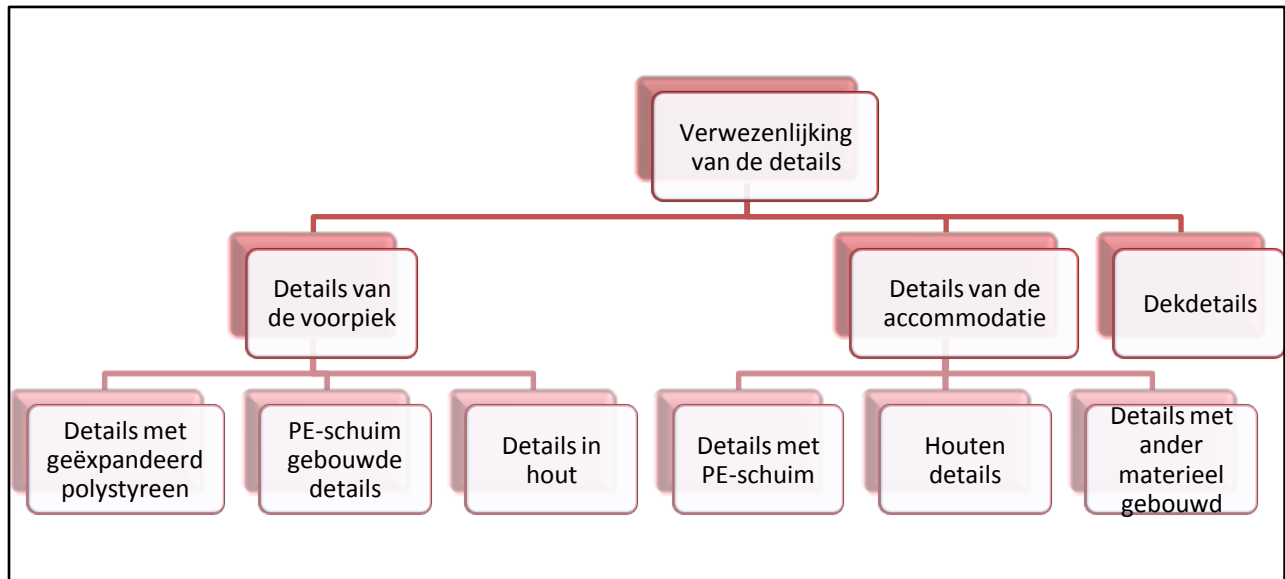


Foto's 48 en 49 - Uitrustingen van het dek van de “Crystal Emerald”.



Om die details vóór de maand september te kunnen bouwen moesten we zeker zijn dat we alle afmetingen hadden. Dit was aanvankelijk een probleem door het feit dat de plannen niet volledig waren. Daarom hebben we aan Mevrouw Bie Van Deun en Mevrouw Eva Floren, lesgevers bij de Hogere Zeevaartschool en die op de Crystal schepen hebben gevaren, gevraagd of ze ons bijkomende toelichtingen over die details konden bezorgen. Over veel details konden ze toelichtingen geven. Voor andere, hen niet bekende details, zouden ze ons informeren zodra een van de Crystal schepen in de Antwerpse haven zouden aanmeren. Zo hadden wij de kans gekregen om na de examens van juni 2008 aan boord van de “Crystal Emerald” te gaan. Daar hebben wij alle gewenste details opgemeten en de nodige foto’s genomen.

De beschrijving van de details verloopt volgens de ligging ervan op het schip en volgens het soort materiaal gebruikt om deze te bouwen.



Figuur 26 - Verschillende types details.

## 5.3.2 De details en het bouwen van de voorpiek

### 5.3.2.1 De voorpiek

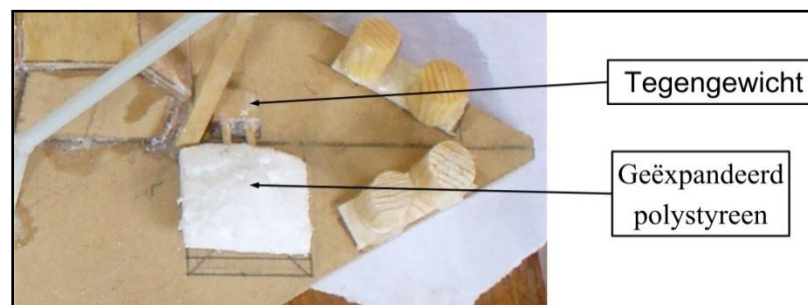
Voor de details van de voorpiek te kunnen plaatsen was het noodzakelijk om eerst het dek van de voorpiek te verwezenlijken. Dit dek werd gebouwd met een triplex plank. Op die plank worden de details bevestigd. Deze plank moest de goede vorm en afmetingen hebben om perfect in het model te passen.

Om dit dek op de goede hoogte te kunnen plaatsen hebben wij een blok geëxpandeerd polystyreen gebruikt. De vorm van dit blok werd aan de romp aangepast door middel van de schuurmachine. Door het feit dat het dek van de voorpiek niet horizontaal is maar wel met een lichte helling gebouwd is, moesten wij het steunblok ook aanpassen. Hierdoor was het bouwen van dit onderdeel niet eenvoudig. Het was namelijk moeilijk om de perfecte afmetingen en de correcte hellingshoek van de voorpiek op de plannen te meten. We beschikten niet over voldoende plannen van de voorpiek. Het bleek ook niet gemakkelijk te zijn om aan het steunblok de correcte dikte en de juiste hoek te geven.

Eens de voorpiek op zijn steunblok hebben we de posities van de verder beschreven details erop getekend. Dit gaf ons al een goed beeld van hoe de voorpiek er zou uitzien.

### 5.3.2.2 Details met geëxpandeerd polystyreen

Voor de voorpiek hebben we maar één detail dat uit geëxpandeerd polystyreen gebouwd kan worden, te weten, het “mangat” voor de trossen. Dit mangat heeft een rechthoekige vorm en bevindt zich aan de stuurboordzijde van de voorpiek. Met een cutter hebben we een klein blok geëxpandeerd polystyreen gesneden. Door drie stukjes hout in het blokje te slaan hebben wij het tegengewicht aan het mangat verbonden. Voor de bevestiging van dit detail op het dek hebben we houtlijm gebruikt (zie effect van de Zap lijm op de “navigatiebrug”).



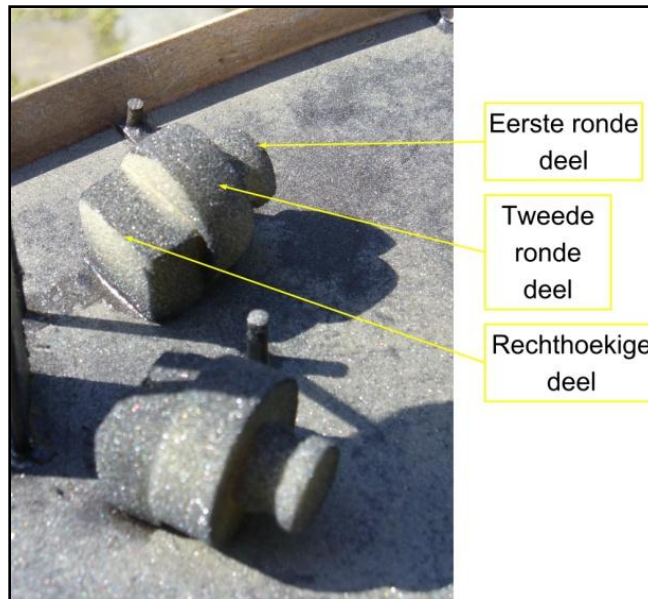
Figuur 27 - Het mangat.

### 5.3.2.2 PE-schuim gebouwde details

Hier gebruiken we een soort PE-schuim. Dat type PE-schuim is sterker dan het geëxpandeerde polystyreen en wordt ook niet door ZAP lijm aangetast. Het PE-schuim kan ook gemakkelijk met schuurpapier in de gewenste vorm gebracht worden.

Twee details van de voorpiek werden met dit materieel gebouwd: de lieren en de berguimte van de vlotten.

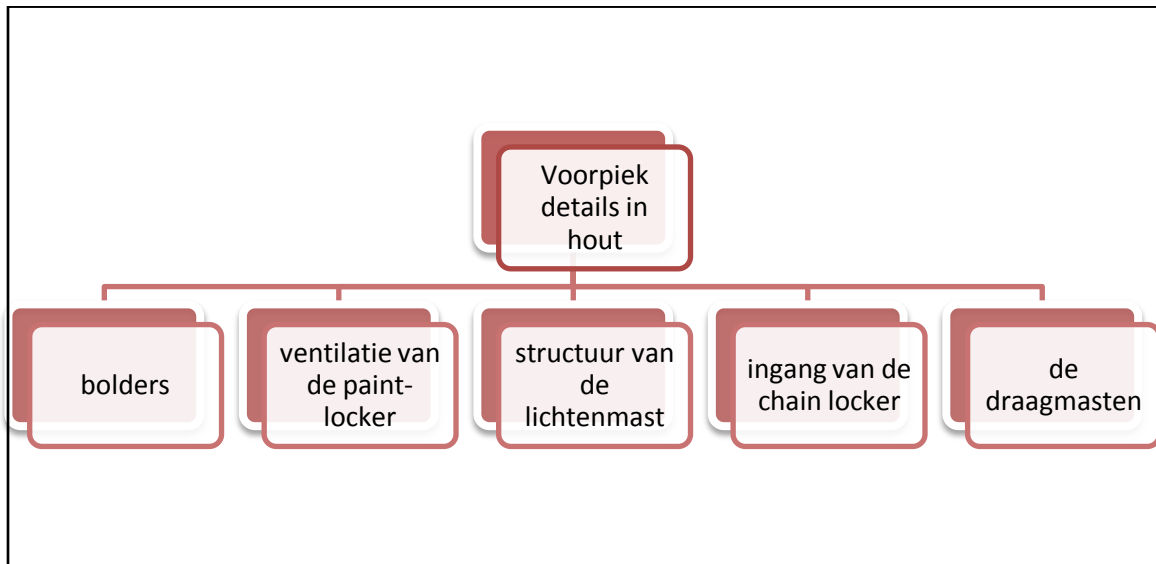
De lieren waren uit drie delen samengesteld: een rechthoekig en twee ronde delen. Voor het rechthoekige deel hebben we voor het verwezenlijken ervan zoals gewoonlijk de cutter en voor de ronde delen het schuurpapier gebruikt. Daarna hebben we die drie delen samengelijmd door middel van ZAP lijm. Na hun samenstelling hebben wij de details aan het dek bevestigd. De bergruimte van de vloten werd met een klein doosje gemaakt.



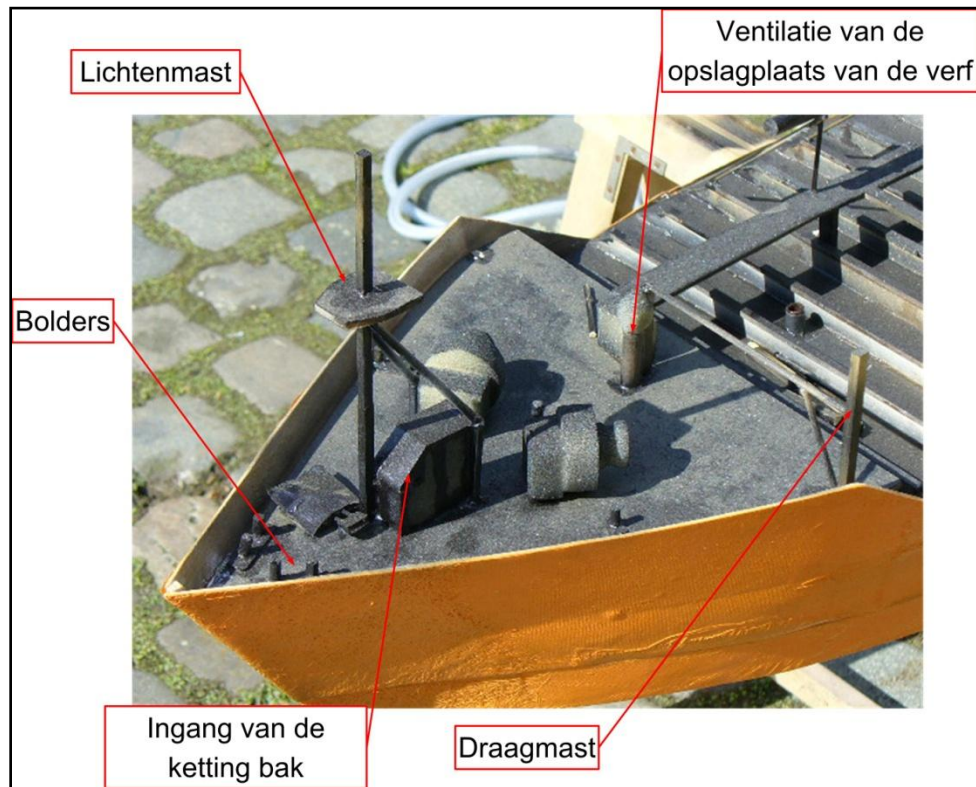
Figuur 28 - De lieren.

### 5.3.2.3 Details in hout

De volgende figuur geeft een overzicht van de details in hout van de voorpiek.



Figuur 29 - Voorpiek details in hout.



Figuur 30 - Voorpiek details in hout.

#### 5.3.2.3.1 De bolders

De bolders werden uitgewerkt als kleine houten stutten die op een rechthoekig balsaplaatje bevestigd worden. Ze zijn samen geplakt met ZAP lijm en daarna op het dek bevestigd. Om de stutten te maken hebben we gewoon een rechthoekige houten lat genomen en ze tot de juiste vorm geschuurd.

#### 5.3.2.3.2 De ventilatie van de opslagplaats van de verf

De ventilatie van de opslagplaats van de verf is samengesteld uit een ronde lat en een rond geschuurde PE-schuim vorm. De twee werden samen verbonden met ZAP lijm en daarna aan het “hoofddek” bevestigd.

#### 5.3.2.3.3 De ingang van de kettingbak

Voor de bouw van de ingang van de kettingbak hebben we onze wel bekende “geprefabriceerde bouwtechniek” gebruikt. We hebben de muren op het “hoofddek” bevestigd en het plafond er opgelegd. Om de verticaliteit van de muren te garanderen hebben wij tijdens het lijmen winkelhaken gebruikt.

#### 5.3.2.3.4 De lichtenmast

Na het bouwen van de ingang van de kettingbak konden wij de lichtenmast plaatsen. Dit detail kon maar na het bouwen van de ingang geplaatst worden wegens het feit dat de lichtenmast boven en rond de ingang van de kettingbak geplaatst is. De lichtenmast heeft een driehoetig structuur waarop in de hoogte een horizontaal plaatje bevestigd werd. Een laatste rechthoekige mast vertrekt vanaf dit plaatje. Om de driehoet te vormen hebben we rechthoekige latten en twee rietjes nodig. De rietjes die we gebruiken zijn harder dan de rietjes die gebruikt worden om te drinken. Zoals gewoonlijk gebruiken we ZAP lijm.

Tijdens het bouwen van deze details was het niet gemakkelijk om de voeten loodrecht ten opzichten van het dek te plakken. Het was ook moeilijk om het plaatje op de voeten te bevestigen door het feit dat de top van deze voeten zeer dicht bij elkaar komen.

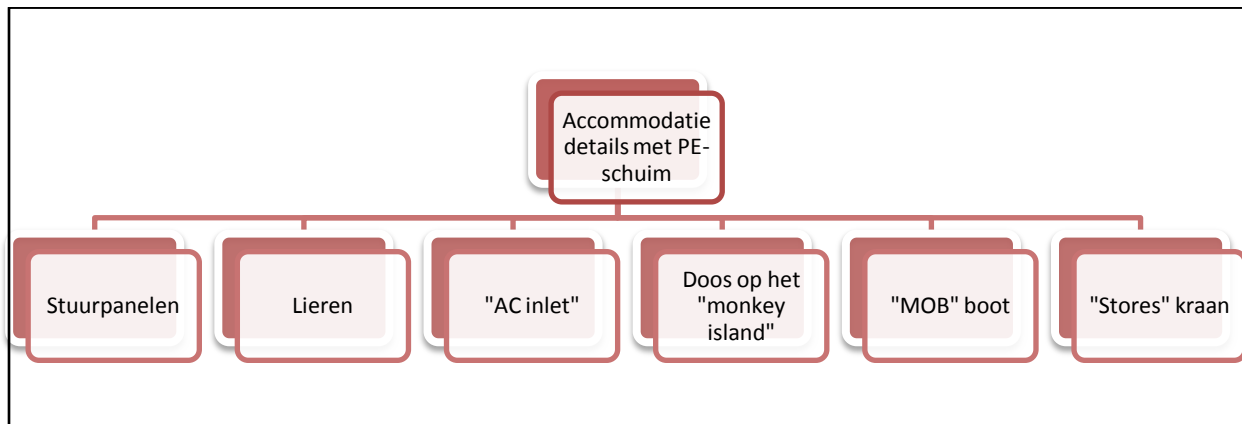
#### 5.3.2.3.5 De draagmasten

De draagmasten werden met verschillende rechthoekige latten gebouwd. De basislat is dikker dan de draaglatten. Hier hebben we ZAP lijm gebruikt om alles samen te bevestigen.

## 5.3.3 De details van de accommodatie

### 5.3.3.1 Details met PE-schuim

In het hier onder getekend schema geven we een lijst van de details van de accommodatie die met PE-schuim gebouwd werden.



Figuur 31 - Details van de accommodatie met PE-schuim.

#### 5.3.3.1.1 De stuurpanelen, de "AC inlet" en de doos van het "monkey island"

De stuurpanelen, de "AC inlet" (airconditioning inlaat) en de doos van het "monkey island" zijn rechthoekige blokken. Om die blokken te verwezenlijken hebben wij een cutter gebruikt. Ze werden met Zap lijm op de verschillende dekken bevestigd.



Figuur 32 - Stuurpaneel, doos van het "monkey bridge" en "AC inlet".

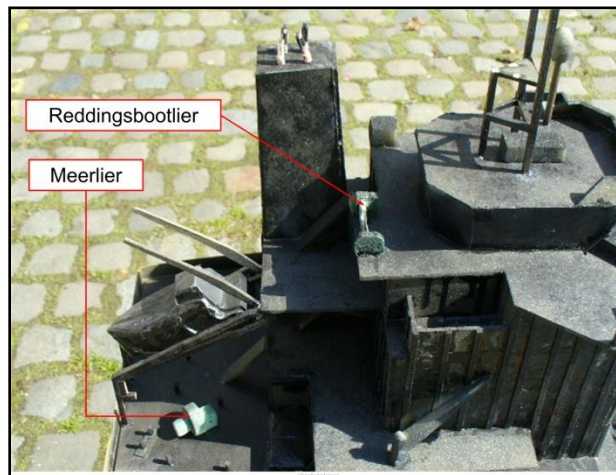
#### 5.3.3.1.2 De lieren

Twee types lieren werden ook met dit type PE-schuim gebouwd. De eerste lieren zijn de meerlieren en het tweede type is de lier van de reddingsboot.



Voor de “aanmeerlieren” hebben we dezelfde techniek gebruikt als bij de bouw van de lieren van de voorpiek.

Voor de “reddingsbootlier” was het iets verschillend. Die lier werd uit een blok PE-schuim gesneden (twee ovale delen die door een cilinder in contact komen). Om de cilinder te vormen hebben wij schuurpapier gebruikt. Om de ovale uiteinden te verwezenlijken hebben we de schuurmachine gebruikt.



Figuur 33 - De twee types winches.

#### 5.3.3.1.3 De “MOB” boot

De “MOB” (Man Over Board) boot hebben wij vervaardigd uit een stukje PE en het daarna op de juiste plaats geplakt. Deze “MOB” boot benaderde op die wijze uitstekend de werkelijkheid.



Foto 50 - De “MOB” boot.

#### 5.3.3.1.4 De kraan voor voorraad

Voor de kraan hebben we gewoon een stukje PE gepakt en daarin de vorm van de kraan uitgesneden.



Foto 51 - De kraan voor voorraad.

### 5.3.3.2 Houten details

De volgende tabel is een samenvatting van de houten details.

<u>Ligging van de details</u>	<u>Lijst van de details</u>
Rond en op de navigatiebrug	<ul style="list-style-type: none"> <li>– De Christmas tree</li> <li>– De pet van de navigatiebrug</li> <li>– Het veiligheidshek op de voorkant van de navigatiebrug</li> </ul>
Rondom de accommodatie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– De trappen</li> <li>– De draagmast van de vloten</li> <li>– De steunstructuur van de reddingsboot</li> <li>– De latten die op de accommodatie gelijmd worden</li> </ul>
Op het dek	<ul style="list-style-type: none"> <li>– De bolders</li> </ul>

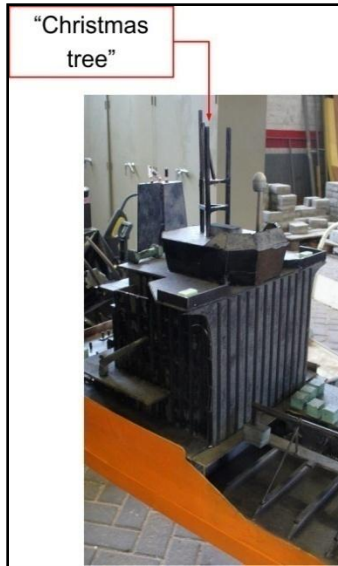
Tabel 5 - Samenvatting van de houten details van de accommodatie.

#### 5.3.3.2.1 Details rond en op de navigatiebrug

##### 5.3.3.2.1.1 De “Christmas tree”

De “Christmas tree” wordt gevormd door de lichten die op een driehoekige mast worden opgesteld. Deze mast werd in ons schaalmodel verwezenlijkt uit rechthoekige latten verstevigd met een driehoekige plaat en iets lager met verstevigingsbalken. Deze opbouw waarborgt een stevige en stabiele mast. De twee verticale stijlen die de voorkant van de mast vormen, lopen in een stuk van het dek naar de top van de mast. Terwijl de achterste stijl uit twee delen is opgebouwd. De “Christmas tree” werd aan het “monkey island” bevestigd. Tijdens deze constructie hebben we altijd ZAP lijm gebruikt.





Figuur 34 - De "Christmas tree".

#### 5.3.3.2.1.2 De pet van de "navigatiebrug"

De pet van de "navigatiebrug" is een zeer belangrijk detail in onze studie. Door het feit dat ze schuin en aan de top van de accommodatie gebouwd is, wordt de pet zeker en vast blootgesteld aan de invloed van de verontreinigende stoffen.

Om de pet te bouwen hebben we verschillende wanden uit triplex gezaagd. De onderkanten werden onder een hoek geschuurd. Daardoor konden de wanden onder een juiste helling op het dek geplaatst worden. De bouw van de pet was zeker niet het gemakkelijkste van alle details. Inderdaad, de verschillende muren staan onder een hoek tegen elkaar en staan bovendien schuin ten overstaan van het dek. Meerdere keren hebben wij dit detail moeten herbeginnen.

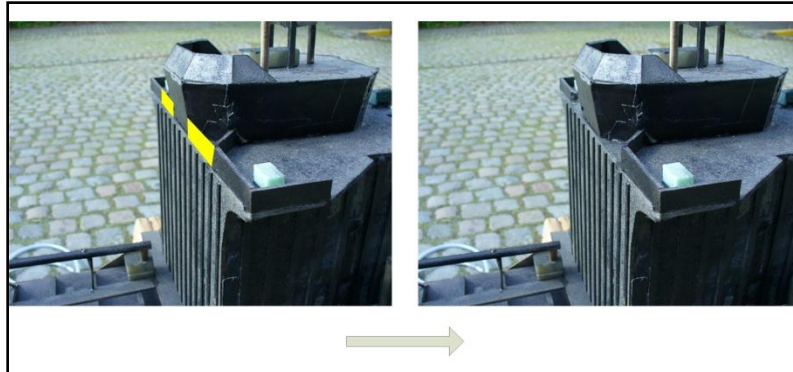


Foto's 52 en 53 - Pet van de "navigatiebrug".

#### 5.3.3.2.1.3 Het veiligheidshek

Het veiligheidshek was ook een belangrijk detail. Door het feit dat dit hek als een echte wand te beschouwen is waren we er bijna zeker van dat er veel invloed op de dampen zou

ontstaan. De balustrade begint bij een van de hoeken van de navigatiebrug een gaat daarna naar de randen van het dek. Bij gebrek aan detailplannen werden de muren op de randen geplaatst (zie figuur met de gele balustrade). Na een grondige analyse van de foto's van de accommodatie hadden we onze fout gemerkt (zie figuur zonder gele hek) en hebben we dit deel van de balustrade verwijderd.



Figuur 35 - Hoe het niet moet en hoe het moet.

#### 5.3.3.2.2 Rondom de accommodatie

##### 5.3.3.2.2.1 *De trappen*

De trappen die van dek naar het bovenste of onderste dek lopen, zijn gemaakt uit triplex. Ons eerste idee was om trappen te maken opgebouwd met echte trapbomen en treden. De treden werden op de trapbomen afgetekend. Met de Dremel werden de inkepingen van de treden uitgefreesd. Na een paar inkepingen hadden we onmiddellijk gezien dat het resultaat zeer middelmatig was en dat deze aanpak veel tijd vergde. Daarom hebben we aan het von Karman Instituut gevraagd of de trappen met planken, maar zonder treden uitgewerkt mochten worden. Het antwoord was bevestigend. We hebben dan vier kleine planken gemaakt en we hebben die in de traphal geplaatst.



Foto 54 - De trappen en traphal.

#### *5.3.3.2.2 De draagmast van de vlotten*

Voor de draagmast van de vlotten hebben we drie latten gebruikt en samen gelijmd. De kraan werd op een rechthoekige basis bevestigd die daarna aan het dek werd geplakt.

#### *5.3.3.2.3 De steunstructuur van de reddingsboot*

De steunstructuur van de reddingsboot werd met rechthoekige latten, met kleine houten blokken en met kleine stukken triplex gebouwd. Voor dit detail hebben wij een stuurboord en een bakboord deel die absoluut gelijk moesten zijn. Deze onderdelen werden aan het “hoofd” en aan het “deerde achterdek” bevestigd.

Bij deze constructie hebben we altijd ZAP lijm en nooit houtlijm gebruikt omdat de onderdelen vlug samen moesten bevestigd worden om in de gepaste positie gebracht te worden.



Foto 55 - De steunstructuur van de reddingsboot.

#### 5.3.3.2.2.4 Balsalatten van de accommodatie

Op de accommodatie werden balsalatten van 1,5 mm dikte gelijmd. Ze werden uit een balsaplank gesneden. Dit werk vereiste een uiterste concentratie en nauwkeurigheid. Deze planken zijn belangrijk door het feit dat ze de ruwheid van de accommodatie beïnvloeden, met een mogelijk effect op de dampen.



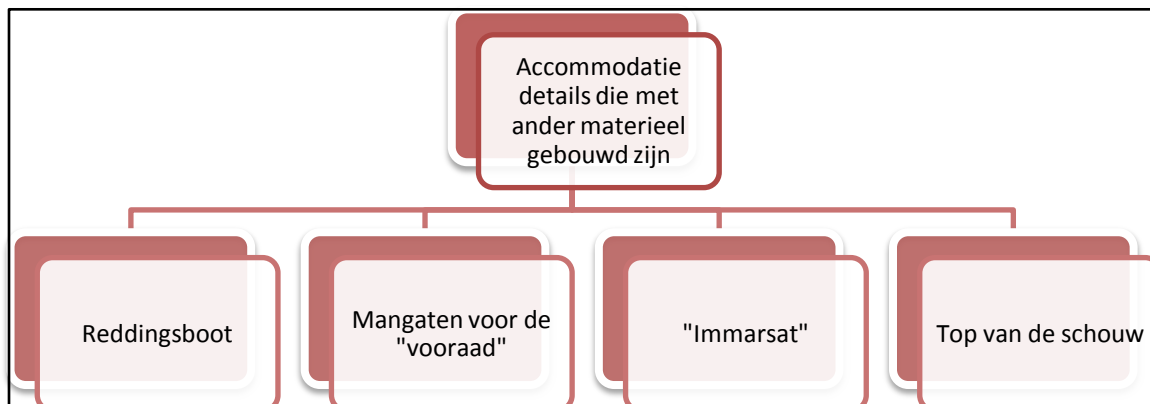
Figuur 36 - Balsalatten op de accommodatie.

#### 5.3.3.2.3 Op het dek (De bolders)

De laatste houten details waren de bolders die dicht bij de lieren geplaatst werden. Ze werden op dezelfde manier gebouwd als de bolders van de voorpiek.

### 5.3.3.3 Details met ander materieel gebouwd

In dit deel zullen we de details uit de volgende figuur bespreken.



Figuur 37 - Details met ander materieel gebouwd.

#### 5.3.3.3.1 De reddingsboot

De reddingsboot is een bootje dat veel moeilijke vormen heeft. Daardoor moesten we een materiaal vinden dat dik en groot genoeg was om de reddingsboot in zijn geheel te kunnen bouwen. Een blok geëxpandeerd polystyreen was hier het materiaal bij uitstek voor.

Eerst hebben we een blok, groter dan de afmetingen van de reddingsboot gesneden. Dan hebben we de voornaamste krommingen van de boot op het blok getekend. Daarna hebben we dit blok bewerkt met de schuurmachine en het schuurpapier. Stap per stap, curve per curve hebben we deze reddingsboot geschapen. De laatste stap was de bevestiging van de reddingsboot op zijn steunstructuur. Dit werd met houtlijm verwezenlijkt.

#### 5.3.3.3.2 De mangaten van de voorraad

Voor de mangaten van de voorraad werd geëxpandeerd polystyreen gebruikt. Door kleine rechthoeken te maken en door die op het dek met houtlijm te plakken werden die perfect nagebootst.

#### 5.3.3.3.3 De “inmarsat”

De “inmarsat” werd in twee delen gebouwd. Het eerste deel was de mast. Deze mast werd met een ronde lat gemaakt. De bolle top werd uit een blokje PE-schuim in de vereiste vorm geschuurd. De twee delen werden samen met ZAP lijm bevestigd en op het dek geplakt.

#### 5.3.3.3.4 De top van de schouw

Op de foto's 56 en 57 kunnen we gemakkelijk de uitlaatpijpen van de schouw zien. Om die te verwezenlijken dachten we een rietje te gebruiken. De vraag stelde zich op welke manier het rietje bevestigd zou worden en ook of de rietjes niet teveel zouden bewegen.

We zijn als volgt te werk gegaan: een plank triplex werd gezaagd en op de top van de schouw geplaatst. In deze plaat werden vier gaten geboord met een diameter van de rietjes. In die gaten hebben we de rietjes vastgelijmd. Daarna hebben we dit deksel aan de top van de schouw met ZAP lijm bevestigd.

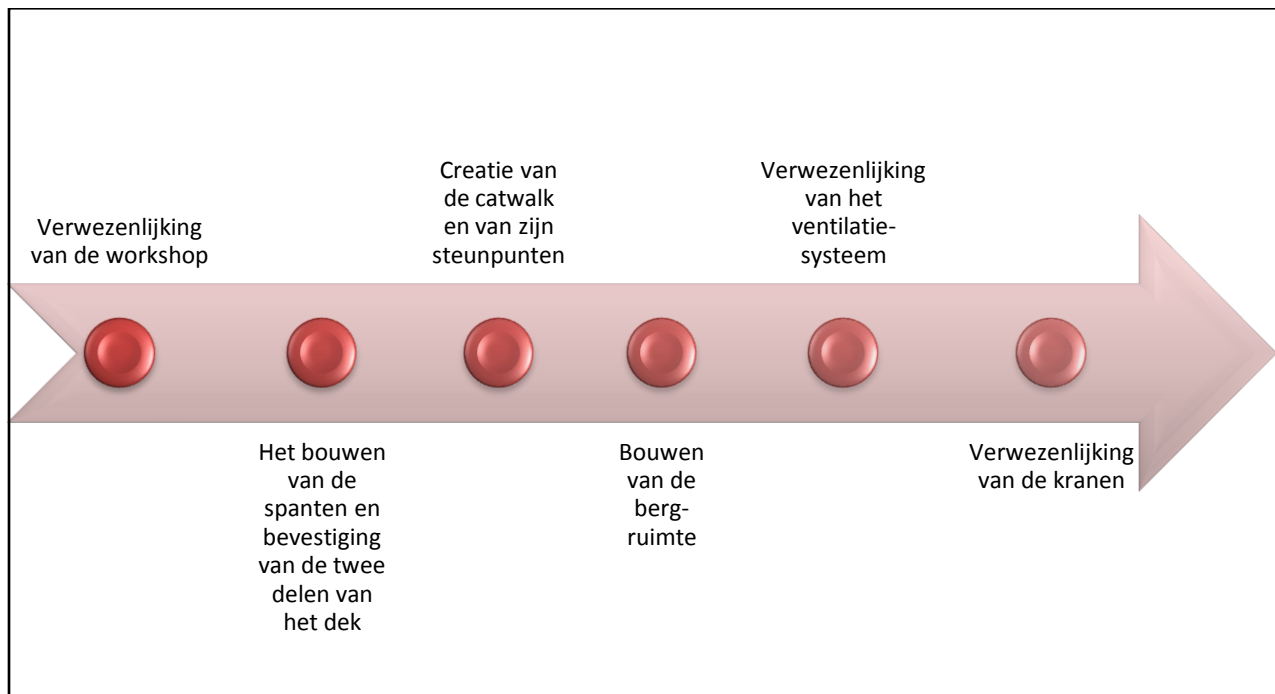




Foto's 56 en 57 - De uitlaatpijpen.

### 5.3.4 De dekdetails

Het volgende schema is een goede afbeelding van de volgorde waarin de dekdetails gebouwd werden. Hierna wordt elk punt van dit schema verklaard.

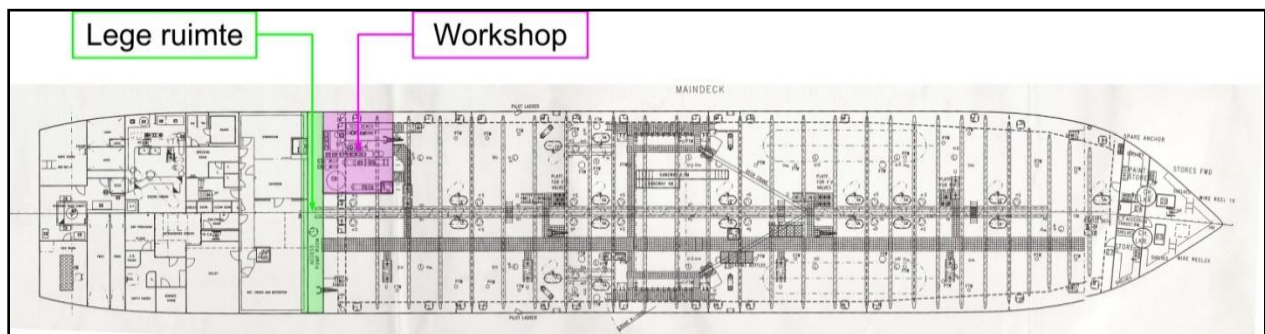


Figuur 38 - Volgorde van verwezenlijking van de dek details.

### 5.3.4.1 Verwezenlijking van de “workshop”

De “workshop” en een klein deel van de “catwalk” waren de eerste details die wij op het dek gebouwd hebben. De workshop bevindt zich juist voor de “facing” van de accommodatie aan bakboord.

Tussen de “workshop” en de accommodatie bevindt er zich een kleine lege ruimte. We hebben die ruimte tijdens een bezoek aan de “Crystal Emerald” opgemerkt. We dachten dat deze ruimte van een redelijk groot belang was in de context van onze studie. Het is niet denkbeeldig dat de gevaarlijke dampen en gassen zich in deze ruimte opstapelen en er blijven hangen. Hierdoor kan een zeer gevaarlijke situatie ontstaan.



Figuur 39 - Lege ruimte en de “workshop”.

Boven deze workshop is er een stapelplaats voor verschillende vaten. Die vaten bevatten verschillende chemische producten zoals toluen, xyleen, methanol,... Een deel van de “catwalk” begint aan de stapelplaats van de vaten en loopt door tot stuurboord (juist boven de lege ruimte).

Eerst werd begonnen met de bouw van de “workshop” en daarna was de “catwalk” en de stapelplaats aan de beurt. Voor de “workshop” hebben we geëxpandeerde polystyreen gebruikt. Voor de “catwalk” en de stapelplaats hebben we triplex gebruikt. Daarna hebben we het polystyreen onder de stapelplaats met houtlijm geplakt. De constructie werd dan aan het dek gelijmd door middel van houtlijm.

Zoals eerder gezegd waren er vaten in de stapelplaats opgeslagen. Om die voor te stellen hebben we kleine kubiekvormige PE-schuimblokjes gemaakt.



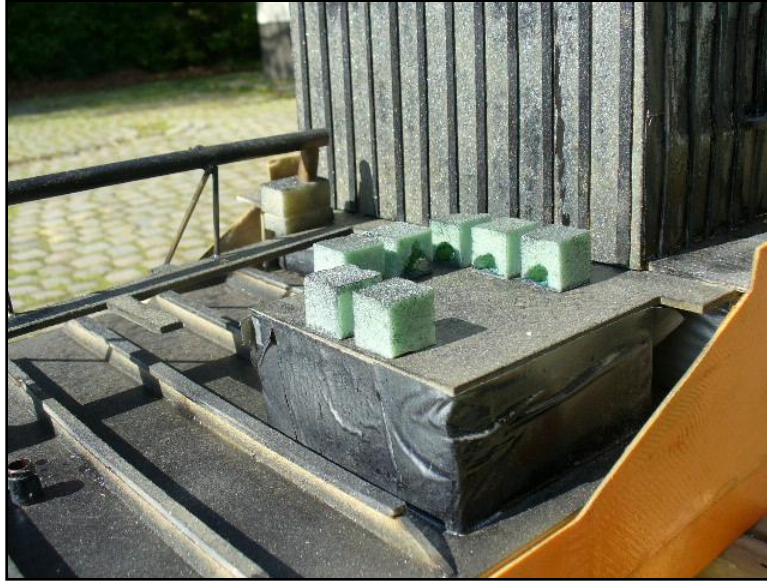


Foto 58 - De “workshop”.

### 5.3.4.2 De spanten

Op de “Crystal Emerald” bevinden er zich spanten op het dek. Die spanten zijn dwarsversterkingen van het schip. Op de “Crystal Emerald” komen die versterkingen tot ongeveer op halve manshoogte. Het is dus noodzakelijk om die ook op het schaalmodel te bouwen omdat ze zeker de wind zullen beïnvloeden.



Figuur 40 - Spanten op de “Crystal Emerald”.

De spanten die op het schaalmodel gebouwd werden waren uit triplex vervaardigd. De spanten hebben een T – profiel. Normaal gezien hebben al die spanten dezelfde vorm. Terwijl sommige spanten korter zijn dan andere. De spanten die meer naar de voorsteven liggen zijn

kleiner dan de anderen. Aan de achterkant van het dek zijn er ook twee kleinere spanten door het feit dat de workshop zich daar bevindt.

De volgende techniek werd gebruikt voor het bouwen van de spanten. Op een triplexplank hebben we de vorm van de lijfplaat van het spant getekend. Met de zaag hebben we deze vorm gezaagd. Die eerste lijfplaat werd daarna goed afgeschuurd om zeker te zijn dat elke kant goed vlak was. Deze eerste lijfplaat werd dan als “sjabloon” gebruikt. Dit was het model dat we op de triplexplaten hebben overgetekend. Daarna hebben we die per vijf gezaagd en geschuurd. Met deze werkwijze waren we zeker dat elk spant dezelfde vorm had. Voor de tafel van het T -profiel van de spanten werd eveneens triplex gebruikt. Eens de breedte van de tafel gekend hebben we lijnen op de plank getekend. Daarna hebben wij die gezaagd. Om gemakkelijker te werken hadden we beslist om eerst de lijfplaten op het dek te bevestigen. Maar om dit te verwezenlijken moesten we de twee delen van het dek samen bevestigen. In een paar lijnen beschrijven we eerst de samenstelling van de twee dekdelen.

De twee delen werden aan elkaar bevestigd door middel van twee latten die onder het dek, in de langs richting van de boot, geplaatst werden. Deze latten werden ongeveer op 10 cm van de kanten geplaatst. Ze hadden afmetingen van 1cm breedte, 0.5 cm dikte en een vijftigtal cm voor de lengte. De twee latten werden eerst aan een van de twee delen bevestigd. Dit werd gedaan met houtlijm en om te vermijden dat de lat zou bewegen hebben we ook ZAP lijm gebruikt om een snelle bevestiging te bewerkstelligen. Daarna hebben we het tweede deel aan de latten bevestigd. De voeg tussen de twee delen werd opgevuld met groene ZAP lijm. Door het feit dat er zich nu twee latten onder het dek bevonden, dwars op de spanten, moesten wij kleine rechthoekige uitsparingen in het bovenste deel van de spanten van de romp maken. Dit werd door middel van de Dremel en van een handzaag gedaan. Eens deze gaten gemaakt, hebben we het dek terug op haar plaats gelegd. Hierna kon het bouwen van de dekspanten verder gezet worden.

Voor de plaatsing van de latten hebben we de juiste positie op het dek getekend. Een belangrijk punt bij de plaatsing was het feit dat de afstand tussen twee spanten niet altijd dezelfde was. De onderkant van de spanten werden met epoxy bestreken. Daarna werden de lijfplaten op de maatlijnen gebracht en de verticaliteit met winkelhaken gecheckt. Dan werden ze op enkele plaatsen met de ZAP lijm bevestigd. Een voor een werden de lijfplaten op het dek bevestigd.

Daarna werd de tafel (bovenste deel van het T-profiel) op de lijfplaten van de spanten bevestigd. Epoxy en ZAP lijm werden ook hier gebruikt.

De bevestiging van deze latten was niet moeilijk in vergelijking met de moeilijkheidsgraad die we ondervonden bij de bevestiging van de lijfplaten. Toch was het niet al te gemakkelijk om deze latten juist op de lijfplaten te centreren, omdat de onderzijde van de lat niet meer zichtbaar was. Na droging en versterking van de lijm hebben we de hoeken van de spanten fijn geschuurd.



Foto 59 - De spanten.

### 5.3.4.3 De “catwalk”

Door het feit dat de “catwalk” vanaf de “facing” tot aan de voorpiek loopt moesten wij een techniek vinden om deze twee punten zonder problemen te verbinden. We hadden gedacht de “catwalk” uit één stuk te bouwen.

Op een voldoende lange triplexplaat werd de “catwalk” uitgetekend. Na verificatie dat alle onderdelen van de “catwalk” op de tekening stonden, werd met het uitzagen begonnen. Dit was vrij omslachtig gezien de grootte van de triplexplaat en de moeilijke manipulatie ervan. Om tot een perfect resultaat te komen hebben we heel nauwgezet gewerkt. Na het ruw uitzagen van de omtrek van de “catwalk”, hebben we de vorm verfijnd en geschuurd.

De “catwalk” zelf was nu klaar. De structuur moest nog op de goede hoogte geplaatst worden. Daarvoor maakten wij gebruik van steunpalen, die op bepaalde punten geplaatst werden en met ZAP lijm vastgeplakt werden. Die punten werden gekozen om zo goed als mogelijk de

werkelijkheid te benaderen. Om af te werken werden de uiteinden van de “catwalk” aan de voorpiek en aan de dwarse “catwalk”, die zich voor de accommodatie bevindt, vastgemaakt.



Figuur 41 - De “catwalk”.

#### 5.3.4.4 De bergruimte

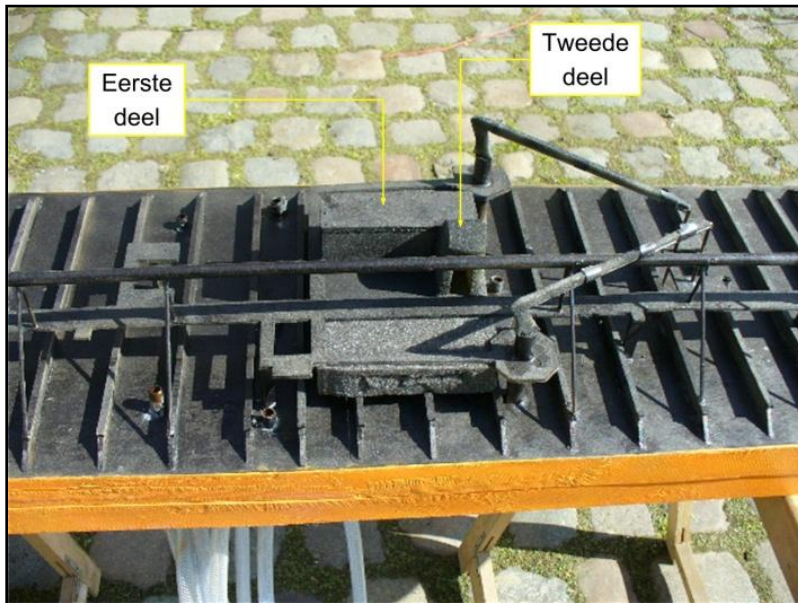
In het midden van het dek bevindt er zich een bergruimte. In deze bergruimte staan er ventilatiepijpen, vloeistofpijpen en andere belangrijke uitrustingen voor het laden en lossen opgesteld.

Deze bergruimte heeft een “L” vorm. Daardoor hebben wij de bouw ervan in twee verdeeld. Het eerste en het grootste deel van de bergruimte loopt volgens de lengterichting van het schip. Het tweede deel is het dwarse deel van de bergruimte. De bergruimte bevindt zich op dezelfde hoogte als de “catwalk”. Tijdens het tekenen van de “catwalk” hebben wij tevens de basis van de bergruimte uitgewerkt. We moesten dus nog de muren en het dak van de twee delen van de bergruimte verwezenlijken.

Het eerste deel werd compleet uit hout gebouwd. Zoals gewoonlijk hebben wij houten stukken gezaagd. Eerst hebben we de muren aan de basis bevestigd en daarna werd het dak erop bevestigd. De onder- en bovenkanten werden versterkt met epoxy.

Voor het tweede deel gebruikten we PE-schuim. Dit materiaal werd daar gebruikt omdat het dak een boog vormt. Eerst werden de muren verwezenlijkt uit rechthoekige PE-schuimblokken. Die werden gezaagd en geschuurd. Daarna werden die aan de basis bevestigd. Voor de boog hebben wij een dikker PE-schuimblok genomen. Door die te schuren zijn we tot de

goede vorm gekomen. Daarna werd het dak samen met de muren door middel van ZAP lijm verbonden.



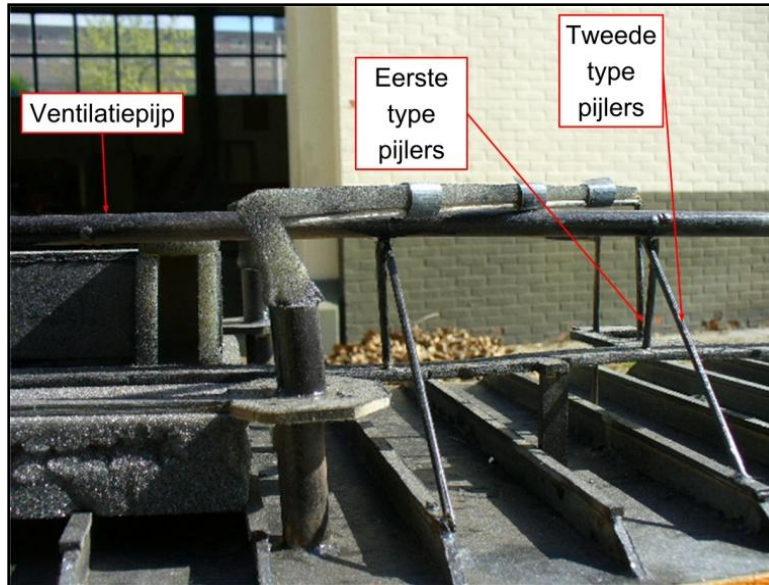
Figuur 42 - De bergruimte.

#### 5.3.4.5 Het ventilatiesysteem

Op de “Crystal Emerald” bevindt zich een groot ventilatiesysteem. Dit systeem bevat een luchtgenerator en een ventilatielijn. Dit systeem bevindt zich aan stuurboord en de ventilatielijn bevindt zich juist boven de “catwalk”.

De ventilatiedoos werd uit PE-schuim gemaakt. In de doos werd een klein gat geboord om een klein deel van de ventilatiepijp te laten doorgaan. Voor de vervaardiging van de ventilatiepijp hebben wij rondhout gebruikt. De pijp werd op de goede hoogte gebracht met behulp van steunpijlers. Twee pijlertypes werden gebruikt. Het eerste type werd verticaal opgesteld onder de ventilatiepijp en steunt op de “catwalk”. Het tweede type werd schuin opgesteld. De pijlers zijn gemaakt van rondhout. Het kruispunt tussen pijlers en pijp werd extra verzorgd uitgevoerd. Voor het tweede type pijlers hebben we “saté” stokjes gebruikt. Deze stokjes werden op de goede lengte gezaagd en daarna onder de ventilatie pijp bevestigd. Het andere uiteinde werd op de spanten gelijmd.



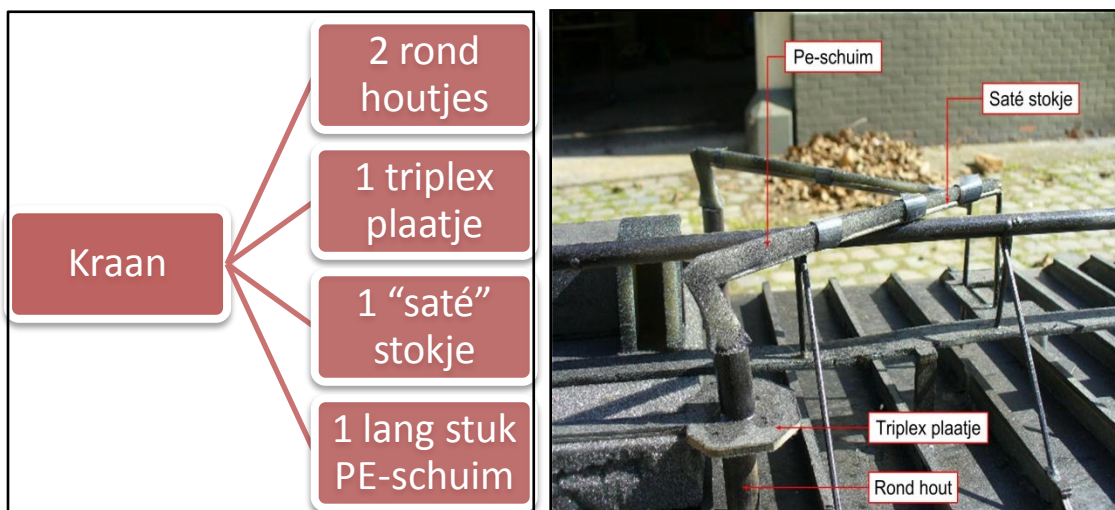


Figuur 43 - De twee type pijlers.

Om het ventilatiesysteem te beëindigen, werd het kleine deel van de pijp, dat van de doos komt, in hoogte geregeld. Na de regeling werd de pijp vastgelijmd. Tijdens de bevestiging van de stokjes was grote voorzichtigheid geboden: door onze handelingen en met de mouwen van onze werkkledij konden deze stokjes vlug beschadigd worden.

### 5.3.4.6 Verwezenlijking van de kranen

Op het dek bevinden er zich twee kranen. Elke kraan telt 5 onderdelen.



Figuren 44 en 45 - Materiaal voor de kranen.

De volgende techniek werd voor het bouwen van de kranen gebruikt. Om te beginnen tekenden we een klein kruis op de plaats waar de kraan moest geplaatst worden. Daarop plakten we het eerste rondhouten stukje. Daarna zaagden we een zeshoekige plaat en we bevestigden die aan het rondhoutstukje. Op dit plaatje plaatsten we het tweede ronde stukje. In het PE-schuim blokje sneden we de vorm van de arm van de kraan uit. De twee kranen hadden dezelfde gieken en werden gelijktijdig gebouwd. Daarom verdubbelden we de breedte van de vorm in het PE-schuim. Een keer de vorm klaar sneden we die in twee. De kraanarm werd versterkt door twee saté stokjes in de uiteinden van de kraanarmen te prikken. Om zeker te zijn dat deze stokjes niet uit het PE-schuim zouden vallen, werden ze met plakband bevestigd. Daarna werd de giek op de ronde houtblokjes bevestigd. Wanneer de kraan op een schip niet in gebruik is, wordt de giek op steunpunten gelegd. Bij onze maquette werden deze steunpunten als versterking gebruikt. Hierdoor weerstonden ze tijdens de testen beter aan de wind.

## 5.4 Het verven

Voor het verven was het belangrijk en noodzakelijk om aan drie punten te voldoen.



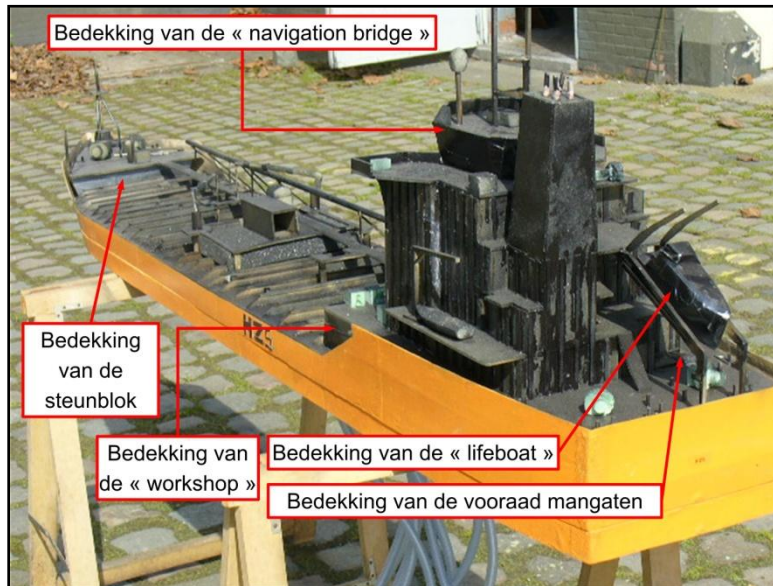
Figuur 46 - De drie belangrijke punten voor het verven.

### 5.4.1 Bescherming en voorbereiding

Hieronder bespreken we de bescherming van het geëxpandeerde polystyreen. Na het uitvoeren van een kleine test hebben we gemerkt dat het geëxpandeerde polystyreen oplost wanneer het met verf behandeld wordt. Wij bedachten een oplossing voor dit probleem. Door een plakband met een breedte van minimum 5 cm te gebruiken konden we gemakkelijk de



blootgestelde oppervlakken bedekken. De meest bedreigde oppervlakken waren de steunblokken die onder de accommodatie, de voorpiek en de workshop verwerkt waren. De “reddingsboot” werd ook met plakband omhuld.



Figuur 47 - Nodige bedekking.

Na deze bescherming van de polystyreenonderdelen hebben we de romp en het dek van het schip een laatste keer opgeschuurd. Nadien hebben we met een kleine zachte borstel het model schoon gemaakt.

### **5.4.2 Verftechniek**

Om te verven gebruikten we een spuitbuis. Om tot een goed resultaat te komen moet die verf gebruikt worden bij een temperatuur van 15 tot 25°C. Dat was geen probleem omdat het verven tijdens de maand juli gebeurde. Bij het aanbrengen van de verf hebben we de gebruiksaanwijzingen vermeld op de spuitbus, opgevolgd.

De accommodatie en het dek werden in het zwart geverfd. De romp van het schip werd in het oranje geschilderd. Tijdens het spuiten moesten wij altijd een afstand van 20 tot 30 cm van het model houden. De droogtijd tussen 2 lagen bedroeg 2 uur. Daarna hebben we dezelfde techniek gebruikt voor de tweede laag.

### 5.4.3 De keuze van de kleuren en hun kenmerken

Ons objectief was duidelijk dat ons schaalmodel een correcte weergave van de “Crystal Emerald” zou zijn. Op één punt moesten wij echter afwijken. Door het feit dat we met de laser technologie en niet met het zuigen van de verontreinigende dampen zouden werken mocht het dek het licht niet reflecteren. Daarom werd een gemetalliseerde kleur gebruikt. Door de zwarte kleur is het licht van de laser ook beter zichtbaar. Voor de romp hebben we een oranje kleur aangewend zoals gebruikt bij de “Crystal Emerald”.

### 5.5 De laatste werken op het model

Tijdens onze werkzaamheden in juli beslisten we ons model tijdens de maand september verder af te werken. Twee onderdelen van het model moesten nog afgewerkt worden.



Figuur 48 - De laatste werken op het model.

#### 5.5.1 De verwezenlijking van de uitlaten van de dampen

Voor de afvoer van de dampen werd een werkbaar systeem bedacht. Het doel was hier om een rookgenerator met een of meerdere uitlaatpijpen te verbinden. Door een versterkte soepele slang aan de rookgenerator te bevestigen zal de rook via deze slang de uitlaat bereiken. De soepele slang mondt uit in een eindstuk.

We deden een poging om dat eindstuk te maken door een buigzame koperen buis onder 90° te plooiën. Na verschillende proeven hebben we deze techniek verlaten omdat het niet mogelijk bleek een mooie bocht te verwezenlijken. Het was beter om gewoon en vooraf klaargemaakte bochtstukken te gebruiken en ze samen te stellen. Beter was het echter om gebruik te maken van bochtstukken met schroefdraad. Hiervoor hadden we een bochtstuk en twee kleine koperen buizen (4cm) nodig. De koperen buizen werden aan de uiteinden van de

bocht geschroefd. Aan de onderste buis werd een versterkte soepele slang van 1.5 m met een spanring bevestigd.

In het dek werden er gaten geboord. Daardoor konden wij de bovenste kant van het bochtstuk steken. Om die te bevestigen gebruikten we plakband die we rond de koperen buis plakten. Daarna werden de slangen samen naar een punt gebracht. In de spanten werden enkele doorgangen gemaakt.

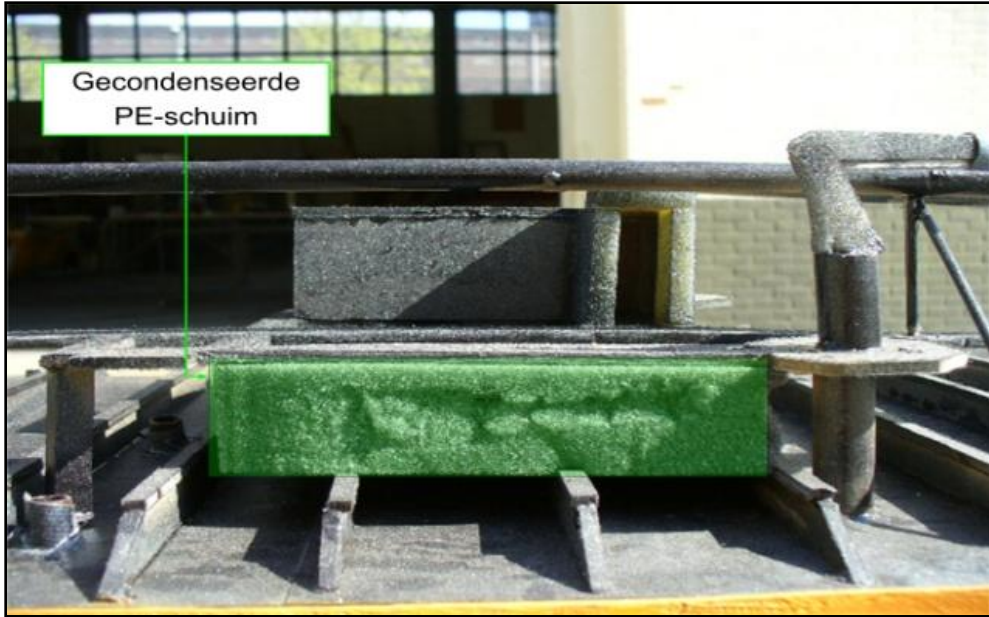


Foto's 60 en 61 - De versterkte soepele slangen. Bochtstukken met schroefdraad.

### **5.5.2 Het plaatsen van de gecondenseerde PE-schuim onder de Manifold.**

Tijdens de maand juli had het von Karman Instituut poreus PE-schuim voor ons besteld. Het doel daarvan was om de verschillende moeilijke delen van het dek daarmee te bouwen. Door middel van dit soort schuim konden we een gedeeltelijke weerstand op de luchtstroom simuleren. Bijvoorbeeld bij de “manifold”, waar veel pijpen aanwezig zijn, wilden we dit soort schuim plaatsen.

Gedurende onze week van september aan het von Karman Instituut hebben we het PE-schuim ontvangen. We stonden argwanend tegenover dit PE-schuim en vroegen ons af of het een goed resultaat zou geven. Voorzichtigheidshalve hebben we maar een klein rechthoekig stuk uitgesneden. Dat we onder de “catwalk” zetten zonder het aan het dek of aan de spanten te plakken.



Figuur 49 - Gecondenseerde PE-schuim.

## *Deel 2: Windtunnels en testen*

In deel 1 van deze masterproef werd het model van de chemicaliëntanker beschreven. In deel 2 geven we algemene inlichtingen over windtunnels en een uitleg over de testen die tijdens de maand september 2008 uitgevoerd werden.

### **Hoofdstuk 6: Inleiding over windtunnels**

De definitie van windtunnels, de redenen waarom windtunnels gebruikt worden, de verschillende klassen van windtunnels en een beschrijving van de L1 windtunnel van het von Karman Instituut zullen in dit hoofdstuk gegeven worden.

#### ***6.1 De definitie van een windtunnel***

Een windtunnel is een onderzoeksmiddel dat gebouwd werd om de verschijnselen van bewegende lucht rondom een object te kunnen bestuderen.

#### ***6.2 Waarom gebruiken we windtunnels?***

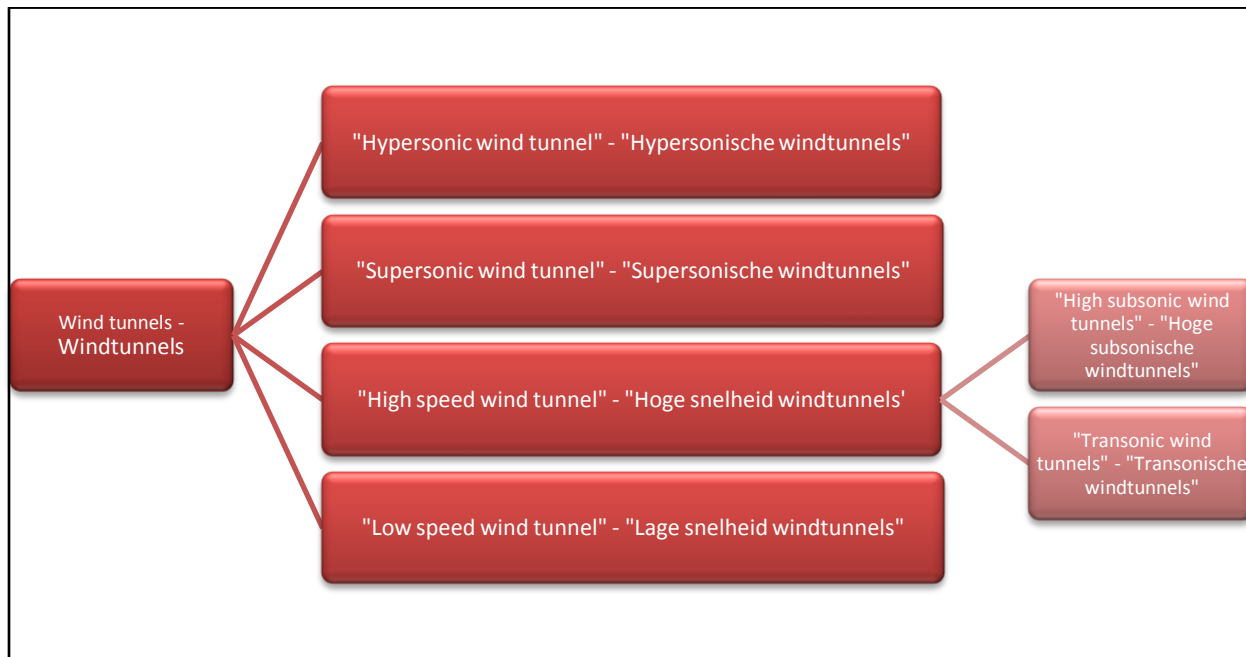
Wij, als levende wezens op deze aardbol, worden doorlopend met bewegende stoffen geconfronteerd (lucht, water, gassen,...). Daarom is het interessant en belangrijk om de invloeden van deze stoffen tijdens hun aanraking met de objecten te begrijpen.

De weerstand van deze stoffen op de objecten zal veel invloed hebben op het verbruik in energie van het object en op zijn prestaties. De door de wind uitgeoefende krachten en drukken op bepaalde constructies zullen gevolgen hebben op de gebruikte bouwmaterialen. Om deze weerstand, drukken en krachten te verminderen, is het belangrijk om de vormen van deze objecten te bestuderen en aan te passen.

Windtunnels helpen om een onderzoek, na uitputting van de theoretische- en gangbare berekeningsmethode, verder te laten evolueren. Inderdaad, in sommige gevallen kunnen verschillende problemen niet meer opgelost worden met behulp van theoretische modellen en berekeningsmethodes. Hier kunnen deze problemen door middel van de testen in de windtunnels diepgaander onderzocht worden.

### 6.3 Klasse van windtunnels - Types windtunnels in functie van de windsnelheden

Om de windtunnels te classificeren zullen de bereikte windsnelheden in de testsectie gebruikt worden (Tabel 6 geeft de snelheden nodig voor de classificatie). De volgende figuur geeft een overzicht van de windtunnels die verder besproken worden.



Figuur 50 - Types windtunnels in functie van de windsnelheden.

<u>Type van windtunnel</u>		<u>Snelheid van de wind in de “test sectie”</u>		
		km/h	m/s	Mach
“Hypersonische windtunnel”		6121 tot 18360	1700 tot 5100	5 tot 15
“Supersonische windtunnel”		1470 tot 6120	408 tot 1700	$1.2 < M < 5$
“Hoge snelheid windtunnel”	“Transonische tunnels”	919 tot 1469	256 tot 408	$0.75 < M < 1.2$
	“Hoge subsonische tunnels”	401 tot 918	101 tot 255	$0.4 < M < 0.75$
“Lage snelheid windtunnel”		0 tot 400	0 tot 100	0 tot 0.3

Tabel 6 - De snelheden van de wind in de testsectie van de verschillende windtunnels.

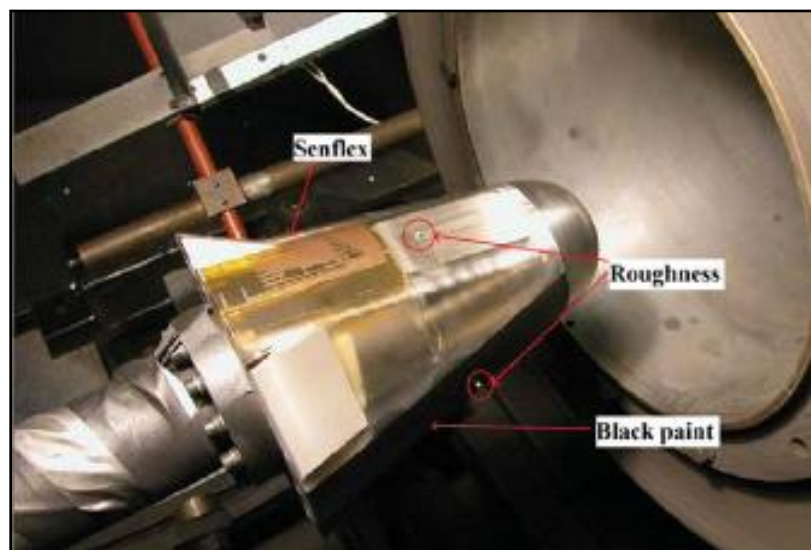


### 6.3.1. “Hypersonische windtunnels” - “Hypersonic wind tunnels”

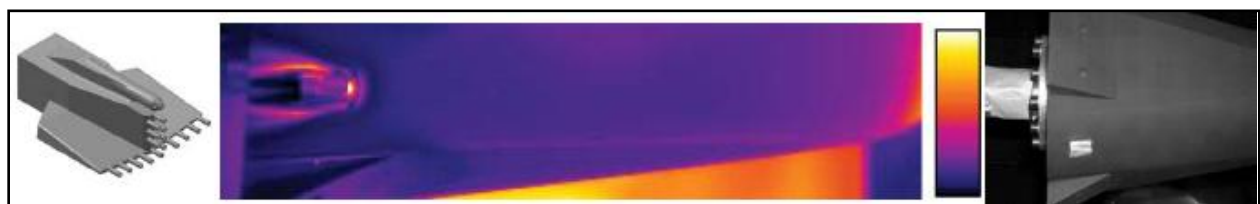
Met de testen die in deze tunnel uitgevoerd worden, bestudeert men de ontwikkelingsproblemen die zich bij hypersonische voertuigen voordoen en worden de voorgestelde oplossingen beproefd. Door middel van deze testen kan men de gasverspreiding en het thermische proces bij het geteste voertuig onderzoeken. Met deze testen kunnen de onderzoekers de berekende modellen controleren.

Bij het von Karman Instituut wordt deze tunnel gebruikt voor:

- Het onderzoeken van de warmtestroom op een opgewarmde plaat in hypersonisch regime.
- Ruwheidsonderzoek op vliegende objecten in hypersonisch regime.
- Infrarode metingen in hypersonische stromen.



Figuur 51 - Gebruikt model voor hypersonische testen.



Figuur 52 - Infrarood visualisatie van de gassen rond het model.



### 6.3.2 “Supersonische windtunnels” - “Supersonic windtunnels”

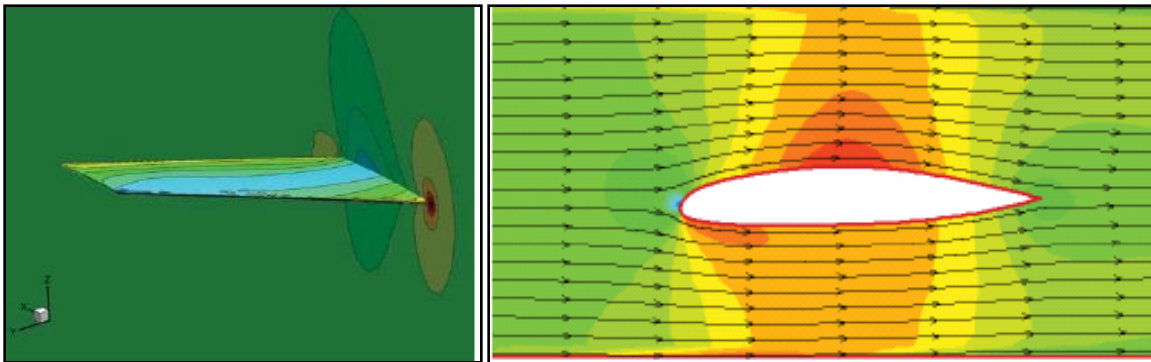
Bij het von Karman Instituut wordt deze tunnel gebruikt voor:

- Het onderzoeken van de dynamische stabiliteit in supersonisch regime.
- Testen van “Airfoils”.
- Aëroelastische simulaties.

### 6.3.3 “Hoge snelheden windtunnels” - “High speed windtunnels”

#### 6.3.3.1 “Transonische windtunnels” - “Transonic wind tunnels”

Dit soort tunnel wordt voor dezelfde onderzoeken gebruikt als de supersonische windtunnels maar wel in transonisch regime.



Figuren 53 en 54 - Voorbeelden van werken met behulp van transonische en supersonische tunnels. (Figuur 53 geeft een afbeelding van de druklijnen, terwijl figuur 54 de machlijnen toont.)

#### 6.3.3.2 “Hoge subsonische windtunnels” - “High subsonic wind tunnels”

Dit type tunnel wordt meestal gebruikt om een stroom zichtbaar te maken en om de vormen van de vliegtuigen te ontwikkelen.

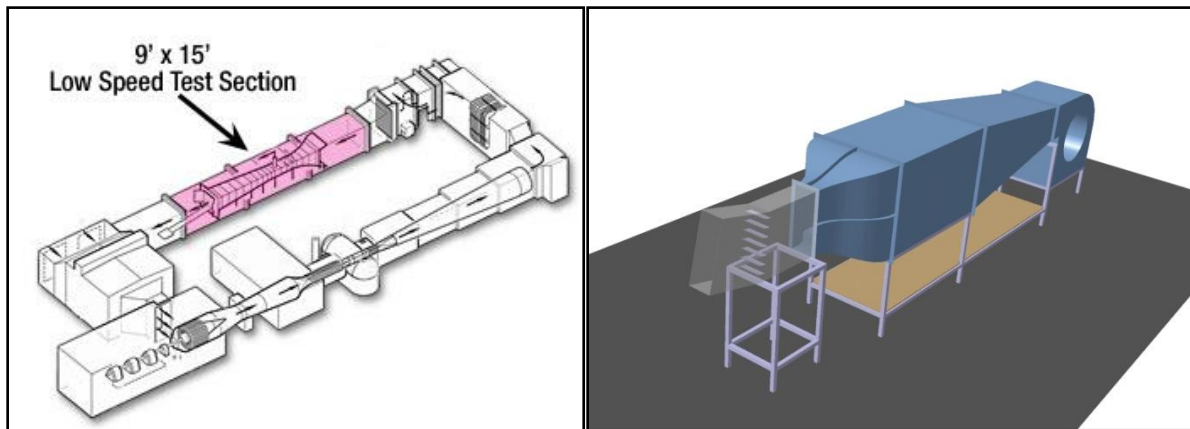


Foto's 62 en 63 - Modellen die in hoge subsonische windtunnels gebruikt zijn.

## 6.3.4 “Lage snelheid windtunnels” - “Low speed windtunnels”

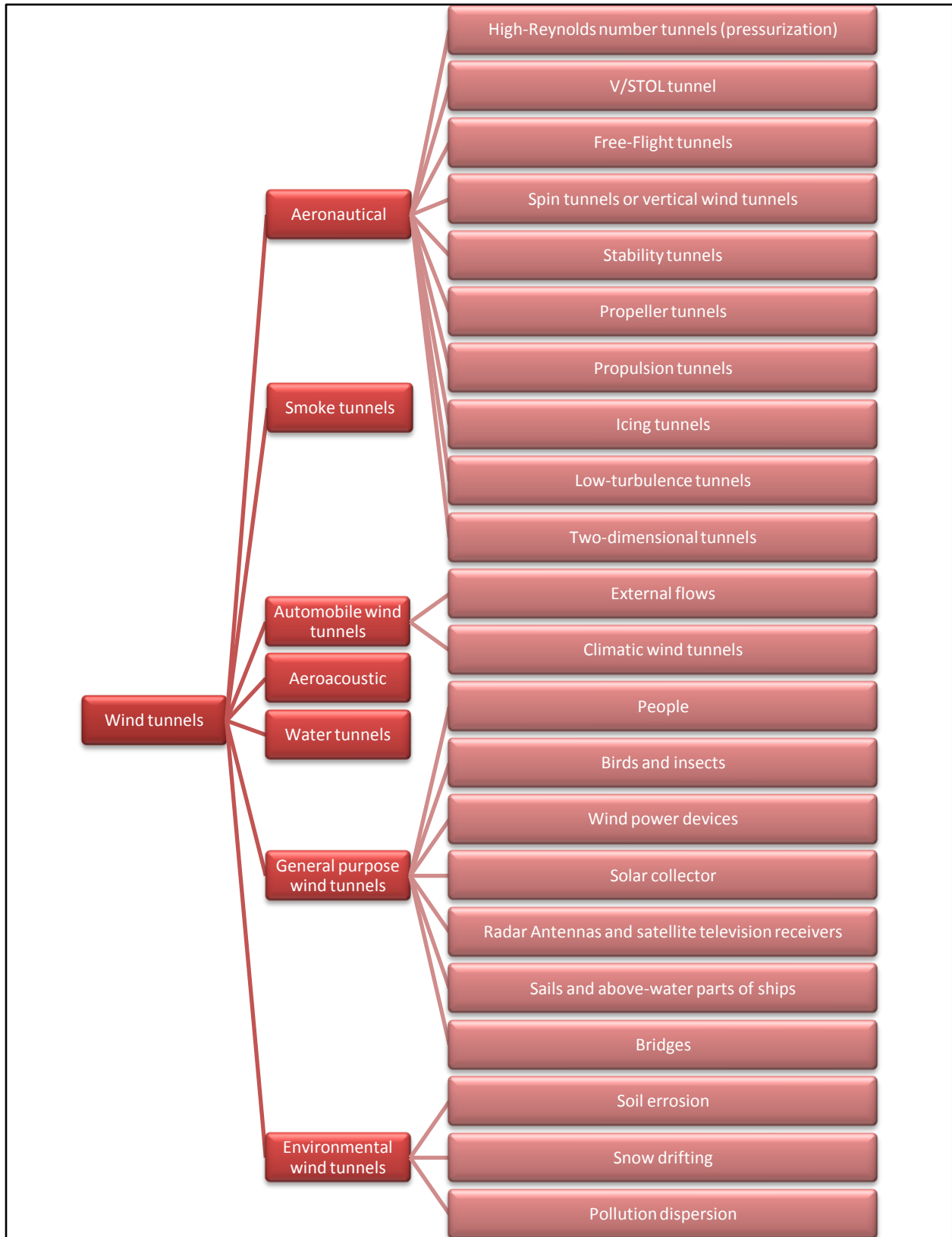
### 6.3.4.1 Inleiding over “lage snelheid windtunnels”

In tabel 6 kunnen we zien dat de lage snelheid windtunnels de laagste windsnelheden van alle windtunnels bereiken. Door het feit dat schepen bij deze lage snelheid varen, zullen we dit soort windtunnel voor onze test gebruiken. Daarvoor zal er een grondigere uitleg over dit type tunnel gegeven worden dan voor de eerste drie type tunnels.



Figuren 55 en 56 - Voorbeelden van lage snelheden windtunnels.

Een overzicht van de verschillende types van tunnels met lage windsnelheden wordt in het onderstaande schema gegeven. Deze figuur geeft ook de klasse van windtunnel in functie van het gebruik van de windtunnel. Daar dit eindwerk niet over de windtunnels zelf gaat, zal ik geen verdere uitleg over de verschillende types geven. Meestal spreken de namen van deze tunnels al voor zich.

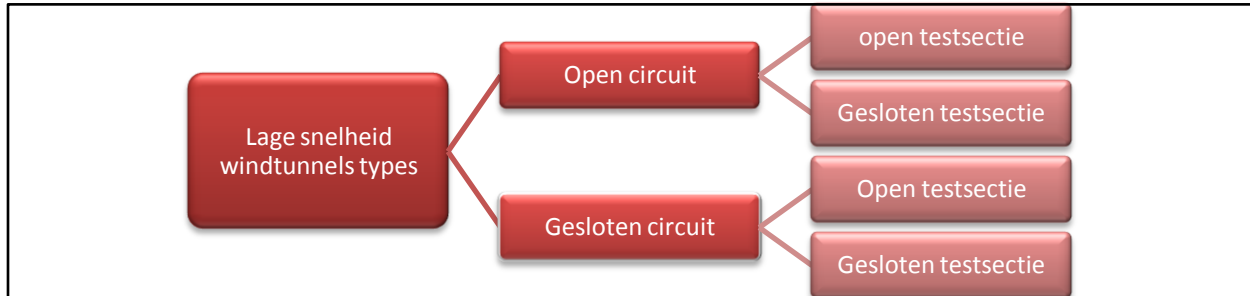


Figuur 57 - Lage snelheden windtunnels.

### 6.3.4.2 “Open of gesloten circuit” en “open of gesloten testsectie”

De lage snelheden windtunnels kunnen naargelang hun constructie in twee klassen opgedeeld worden: deze met een open circuit of met een gesloten circuit.

Daarnaast kunnen de windtunnels nog geclassificeerd worden in functie van het type testzone of testsectie in het Engels “test-section”. Met name de open testsectie en de gesloten testsectie. Het schema hieronder geeft een samenvatting van de diverse mogelijkheden.



Figuur 58- Samenvatting van de type lage snelheden windtunnels.

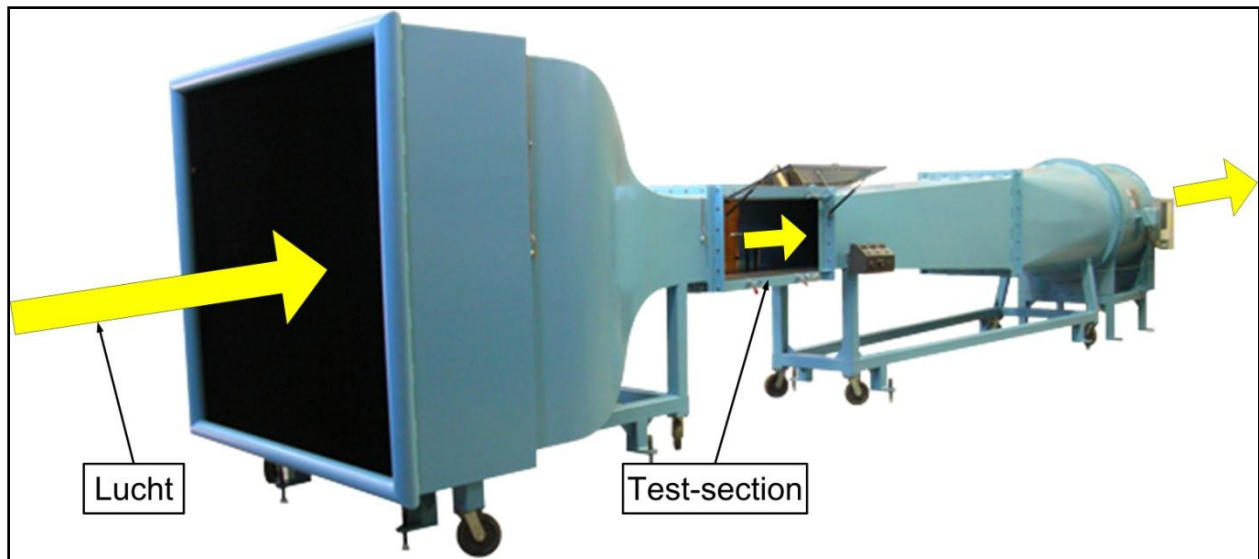
#### 6.3.4.2.1 Open circuit

Open circuit windtunnels zuigen de lucht van de kamer waarin de windtunnel zich bevindt aan. Deze lucht stroomt daarna door de testsectie en wordt dan naar buiten geblazen.

De volgende tabel geeft de voor- en nadelen van een open circuit windtunnel.

<b><u>Voordelen</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– De bouwkosten zijn lager dan voor een gesloten circuit.</li> <li>– Als we veel testen met verbrandingsmotoren uitvoeren of intensieve stroomvisualisatie door middel van rook, doen er zich geen problemen van besmetting of saturatie van de lucht voor.</li> </ul>
<b><u>Nadelen</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– De kwaliteit van de lucht die in de kamer aanwezig is, kan een probleem vormen. Bijvoorbeeld kan een lage temperatuur invloed op de testen hebben.</li> <li>– Voor een bepaalde grootte van de windtunnel en voor de gebruikte windsnelheden kan een open circuit meer energie vragen dan een gesloten circuit.</li> <li>– Een groot open circuit kan enorm veel lawaai veroorzaken.</li> <li>– Beschadiging van het aanzuigstelsel is mogelijk door het feit dat dit aanzuigstelsel zich achter de testsectie bevindt. Delen van een model kunnen los komen en in contact met het aanzuigstelsel komen.</li> </ul>

Tabel 7 - Voor- en nadelen van open circuit windtunnels.



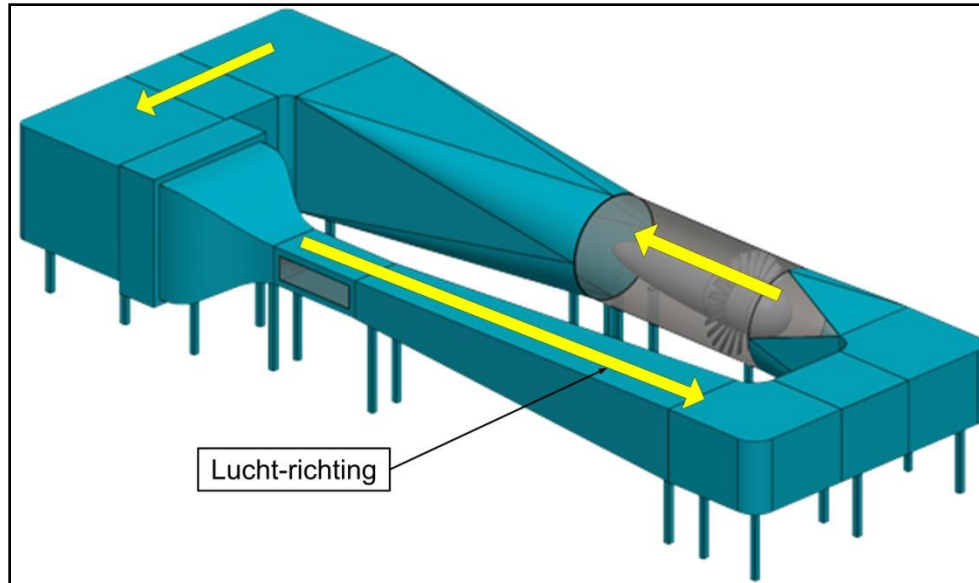
Figuur 59 - Open circuit windtunnel.

#### 6.3.4.2.2 Gesloten circuit

In dit soort van windtunnel zal dezelfde lucht in een gesloten systeem ronddraaien. Met andere woorden er komt weinig of geen lucht van buitenuit in het systeem.

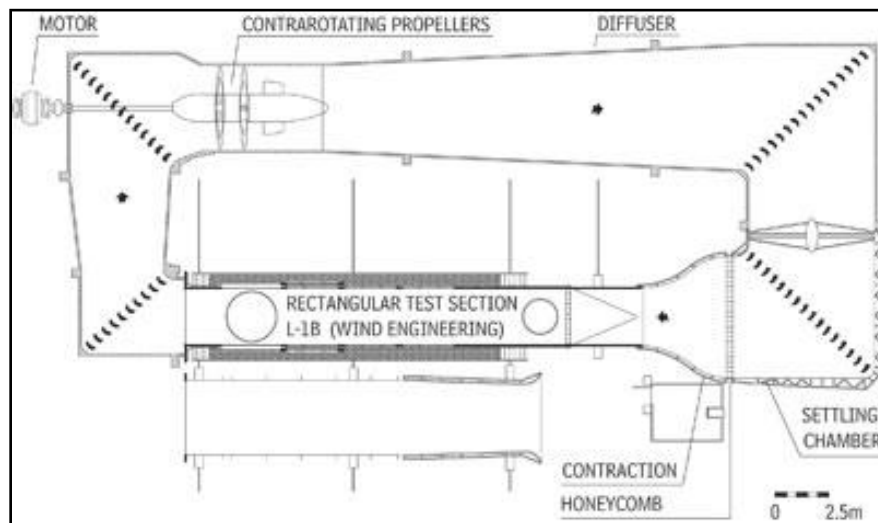
<b><u>Voordelen</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hier zijn de eerste drie nadelen van een open circuit voordelen geworden.</li> <li>– De lucht die zich in de testsectie bevindt is vrij van stoffen die zich in het labo kunnen bevinden.</li> <li>– De bladen van de ventilator kunnen niet beschadigd worden door onderdelen van het model die los kunnen komen (door hun verdere plaatsing).</li> <li>– De luchtstroom is van heel goede kwaliteit door gebruik van vaste schoepen en schermen.</li> </ul>
<b><u>Nadelen</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– De twee voordelen van een open circuit zijn hier de nadelen van een gesloten circuit.</li> <li>– De kosten voor een bepaalde testsectie zijn drie keer hoger dan voor een open circuit.</li> <li>– De temperatuur van de lucht kan gedurende langere testen verhogen.</li> </ul>

Tabel 8 - Voor- en nadelen van gesloten circuit windtunnels”.



Figuur 60 - Gesloten circuit windtunnels.

### 6.3.4.3 L1-B windtunnel van het von Karman Instituut



Figuur 61 - L1-B (gesloten testsectie).

In de volgende tekst zullen we de componenten van de gebruikte windtunnel in het von Karman Instituut uitleggen.

#### 1.3.4.3.1 De testsectie

De testsectie van de L1-B windtunnel is een rechthoekige sectie van 2m hoog, 3m breed en 20 m lang. De testsectie geeft de gewenste stroomomstandigheden en is de plaats voor het model. Door middel van een vervangbare vloer kunnen we de grenslaag veranderen. In deze testsectie vinden we ook een roterende plaat met een diameter van 2.6m. Daardoor wordt het mogelijk om de hoek tussen het model en de wind in te stellen.



Figuur 62 - De testsectie.

#### 6.3.4.3.2 De motor

De motor is een DC motor van 580 Pk die in combinatie met de “contrarotating propellers” een windsnelheid van 2 tot 60 m/s kan leveren.

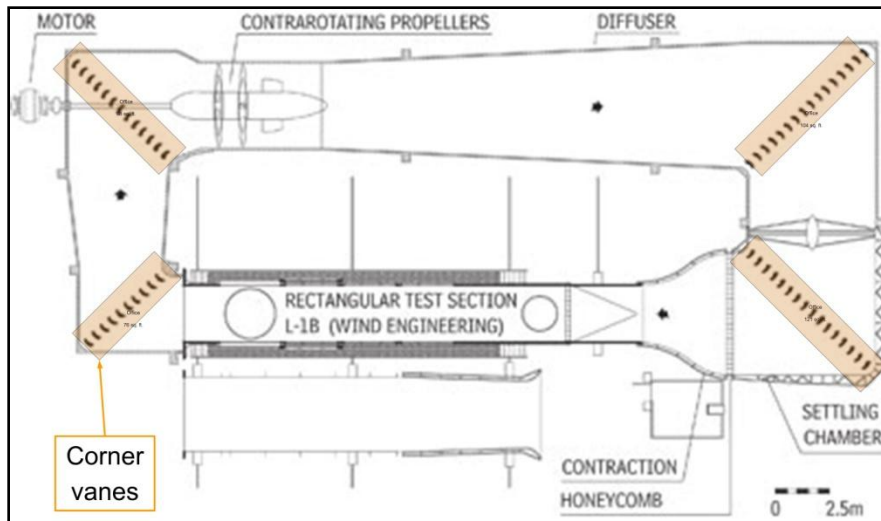
#### 6.3.4.3.3 De “diffuser”

De “diffuser” is een koker die na de schoepen begint. De diffuser verloopt van een ronde naar een rechthoekige vorm. Hierin is er een daling van de stroomsnelheid en een verhoging van de druk. Deze verhoging van druk komt voort uit de verliezen in kinetische energie. Daardoor heeft de motor minder energie nodig.

#### 6.3.4.3.4 De “corner vanes”

“Corner vanes” zijn gebogen bladen die de stroom met 90° zullen veranderen.





Figuur 63 - De 'Corner vanes'.

#### 6.3.4.3.5 "Honeycombs"

"Honeycombs" zijn een soort schermen. Deze schermen zullen de turbulenties verminderen.

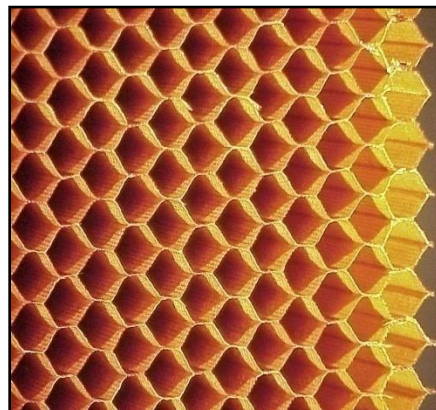


Foto 64 - De "honeycombs".

#### 6.3.4.3.6 De "contraction" of "nozzle"

De "contraction" of ook "nozzle" genoemd zal de stroom versnellen.

## **Hoofdstuk 7: Voorbereiding van de testen in de L1-windtunnel van het von Karman Instituut.**

### ***7.1 Inleiding over de voorbereiding***

Tijdens een van de eerste vergaderingen hadden wij beslist om de dampen door buisjes, die in het schaalmodel zouden geplaatst zijn, aan te zuigen. Na meerdere bezoeken bij het von Karman Instituut hadden we samen met onze promotoren beslist om de bovenvermelde techniek echter niet meer te gebruiken. Onze bedoeling was om de dampen te visualiseren. Daarvoor hadden we “zichtbare” rook nodig. Deze rook wordt door middel van een rookgenerator aangemaakt. Om deze rook te kunnen zien, hebben we een visualiseringmethode nodig. In dit hoofdstuk geven we uitleg over de rookmachine en de visualisering van de rook

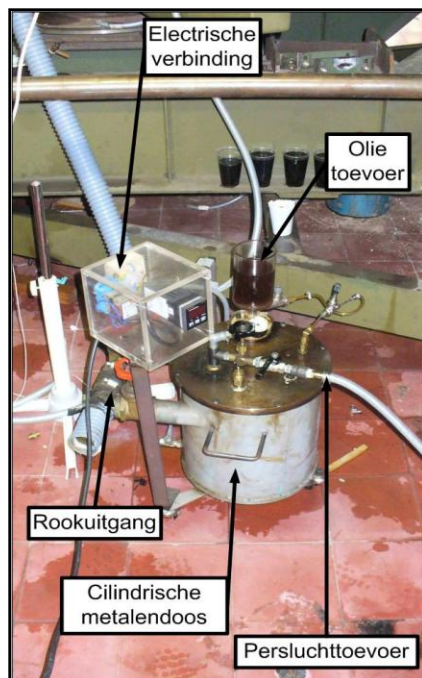
Vooraleer testen uit te kunnen voeren moesten we de windtunnel leren gebruiken. Bijvoorbeeld hoe starten we die, hoe gebruiken we de L1 en hoe moeten we de windtunnel stoppen aan het einde van een testdag.

### ***7.2 Test en uitleg van de rookgenerator***

De rookgenerator die vóór de testen door Mr. Istvan Horvath uitgelegd werd en die we tijdens onze testen gebruikten, werd door leden van het von Karman Instituut zelf gebouwd.

Deze rookgenerator bestaat hoofdzakelijk uit vijf onderdelen:

- een cilindrische doos
- een elektrische verbinding
- een persluchttoevoer
- een olietoevoer
- een rookuitlaat



Figuur 64 - De rookgenerator.

### 7.2.1 Aanmaak en toevoer van de rook

In de metalen cilindrische doos wordt een plaat door een elektrische weerstand opgewarmd. In deze cilindrische doos wordt er olie aangevoerd. Als die olie in contact komt met de warme plaat ontstaat er rook. Door middel van de perslucht wordt de rook mee naar de uitlaat gedreven. Deze perslucht wordt aangevoerd via de buizen die zich in het gebouw van de L1-windtunnel bevinden.

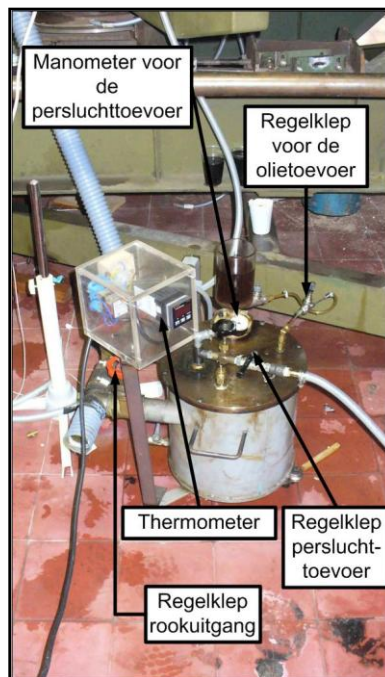
Voor de uitlaat van de rookgenerator bestaan er twee mogelijkheden die altijd aanwezig zijn. Ofwel wordt de vrije uitlaat gebruikt, ofwel wordt een buis met een versmalling gebruikt. Een laatste werkwijze is het gebruik van de twee uitlaten tegelijk. Daardoor is het mogelijk om het debiet van de rook via een van de twee uitlaten te regelen.

## 7.2.2 De temperatuur en de druk van de perslucht van de rookgenerator

Op de rookgenerator zijn er twee meetapparaten geplaatst: een thermometer en een manometer voor de perslucht.

De maximale toelaatbare temperatuur is 180°C. Op advies van Mr. Istvan Horvath moeten we proberen om rond de 170°C te werken. Boven 200°C is er risico voor ontploffing. De temperatuur kan afgesteld worden met een regelaar met “min” en “plus”.

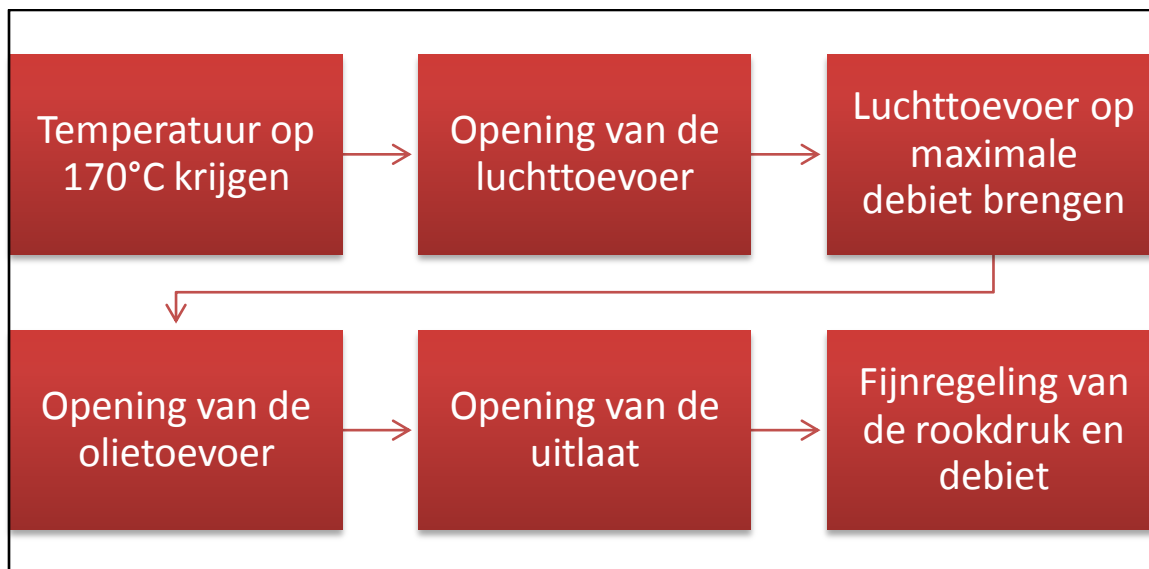
Ons tweede meetapparaat is een drukmeter. Door middel van deze drukmeter kunnen wij de geleverde rookdruk kennen. Om een groter debiet aan de uitgang te bekomen, wordt de intredende luchtdruk verhoogd. Daarvoor regelen wij twee parameters. Een eerste parameter is de aanvoer van de perslucht. Met de toevoerklep van de perslucht regelen we het debiet. De tweede parameter is het debiet van de rookgenerator zelf. Als we een maximaal debiet aan rook in de tunnel willen dan moeten de twee kleppen volledig openstaan. Om een juist rookdebiet te bekomen, is het noodzakelijk om met deze twee kleppen het luchtdebiet te regelen. De maximale toelaatbare luchtdruk is 4 bar.



Figuur 65 - Manometer en thermometer van de rookgenerator.

### 7.2.3 Praktisch gebruik van de generator

Om de rook aan te maken is er een bepaalde procedure te volgen.



Figuur 66 - Procedure voor het opstarten van de rookgenerator.

Voor de fijnregeling van de rookdruk en debiet moet de persluchttoevoer bijgesteld en de opening van de uitlaat bijgesteld worden.

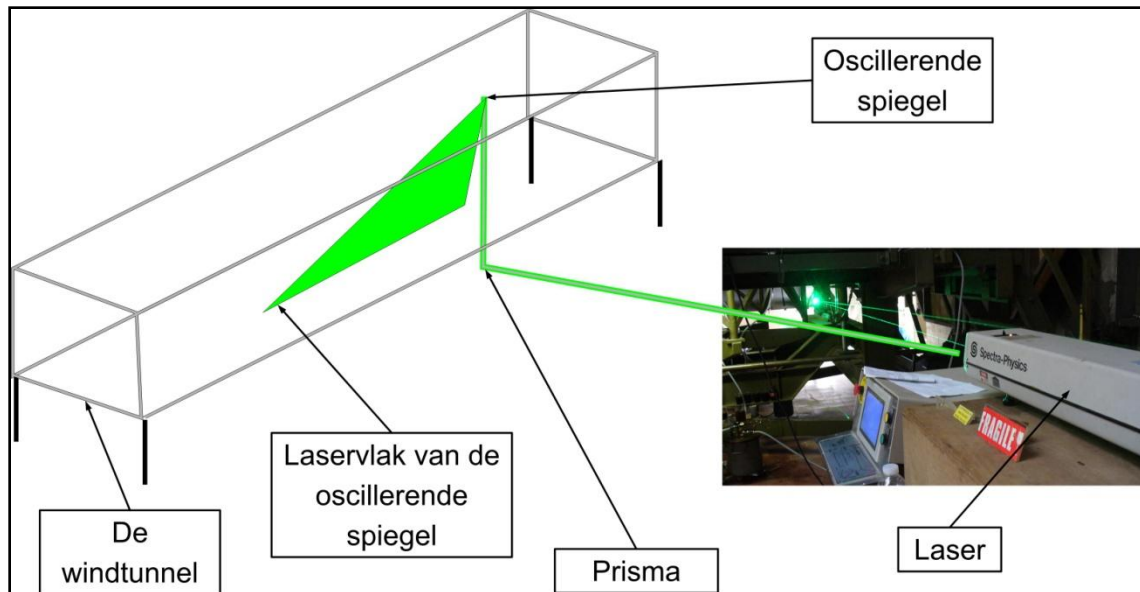
## 7.3 Uitleg van de visualiseringmethode

### 7.3.1 Algemene beschrijving van de visualiseringmethode

Om de aangemaakte rook te kunnen “zien” of visualiseren moet die verlicht worden. Dit gerealiseerd worden door middel van:

- een laser
- prisma's
- een oscillerende spiegel

De laser bevindt zich buiten de windtunnel. Door middel van prisma's wordt de straal naar binnen gebracht. Een keer de straal binnen de tunnel, wordt ze via een prisma rechtstreeks naar een oscillerende spiegel gericht ofwel, onrechtstreeks, met behulp van meerdere prisma's naar de oscillerende spiegel omgeleid. Hieronder volgt een beschrijving van de plaatsing van de verschillende onderdelen.



Figuur 67 - De visualiseringmethode.

### 7.3.2 De laser

Het lasertoestel is een “Argon - Krypton” laser van 20 Watt gebouwd door “Spectra-fabrics”. De straal van deze laser heeft een groene kleur. Met het besturingsbord van de laser kan het vermogen geregeld worden. Door het feit dat deze laser zeer krachtig is, warmt hij vlug op. Om verhitting te voorkomen is deze laser met een water gekoeld circuit uitgerust. Deze laser werd op een tafel van ongeveer 1.5 m hoog geplaatst. De tafel werd aan de linkerkant van de windtunnel op een afstand van 3m ervan geplaatst. Tussen de windtunnel en de laser was er dus een vrije ruimte. Door het feit dat het straal van deze laser zeer schadelijk kan zijn, werd deze vrije ruimte afgebakend en de toegang gesperd. De straal van de laser wordt naar de onderzijde van de windtunnel gericht.



Foto's 65 en 66 - De laser en zijn besturingsbord.



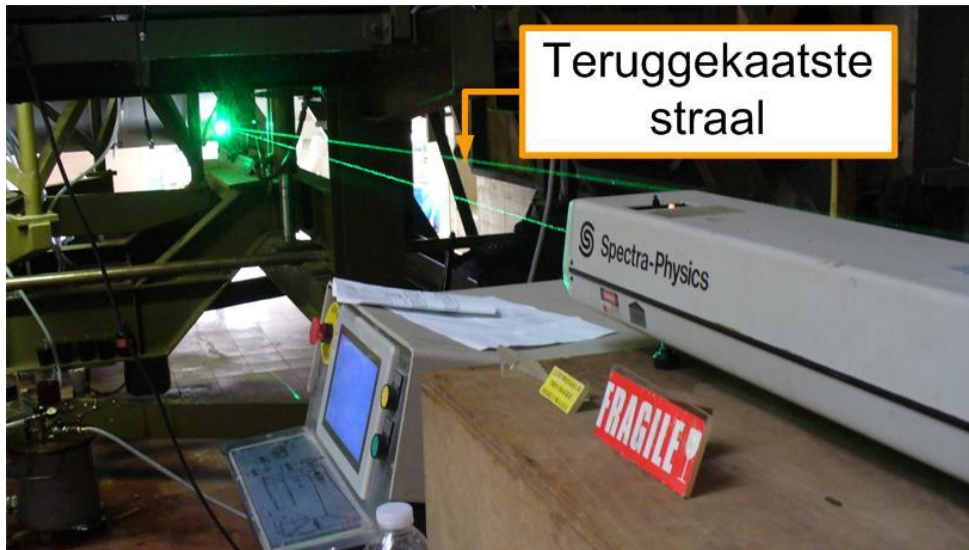
Op de laser zelf is er ook een tijdelijk “stop” knop. Met behulp van deze knop kan de laser vlug uitgeschakeld worden. Deze knop is van groot nut als we de positie van de prisma's of van de oscillerende spiegel willen veranderen zonder de straal op de huid of in de ogen te krijgen.

### **7.3.3 De prisma's**

Prisma's worden gebruikt om de straal van de laser in een bepaalde richting te leiden. Gedurende de testen waarbij het schip met zijn neus in de wind stond, werden er twee prisma's gebruikt. Bij de proef waarbij de neus van het schip een hoek met de wind maakte, hebben we drie prisma's ingezet. In de twee gevallen was er telkens een basisprisma nodig. Dit prisma werd onder en in het midden van de windtunnel geplaatst. Daarmee werd de straal in de windtunnel geleid.

Om het prisma aan de basisstructuur van de windtunnel te bevestigen hebben we de volgende techniek gebruikt. Een houten steunplaat werd aan de structuur van de windtunnel bevestigd door middel van spanvijzen. Op deze houten plaat hebben wij een glijbaan gegeven waarop het prisma kon schuiven. Zodoende waren we zeker van de horizontale stand van het prisma en ook dat het prisma vlug en gemakkelijk in de breedte verschoven kon worden. Om dat te kunnen verwezenlijken was het noodzakelijk om een gat in de bodem van de windtunnel te boren. Door middel van het eerste prisma kwam de straal van de laser op het plafond van de windtunnel. Om de straal naar de oscillerende spiegel te kunnen richten, hebben we een tweede prisma gebruikt. Dit prisma werd door middel van plakband aan de bovenkant van de windtunnel bevestigd.

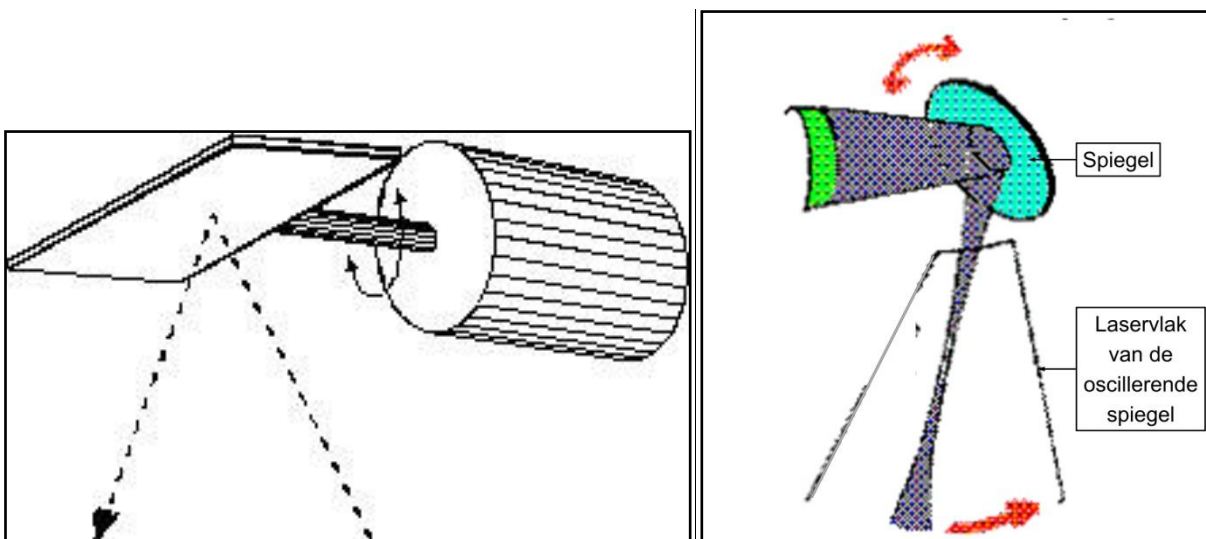
Een belangrijk aandacht- en veiligheidspunt is het feit dat door de onvolmaaktheden van de prisma's stralen teruggekaatst kunnen worden. Op de figuur hieronder kunnen we merken dat er twee stralen zijn: een hoofd straal en een teruggekaatste straal.



Figuur 68 - Teruggekaatste straal.

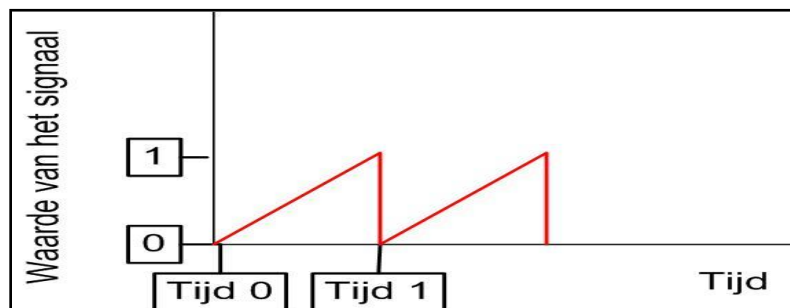
### 7.3.4 De oscillerende spiegel

Het doel van de “oscillerende spiegel” is de straal van de laser in een groter vlak te disperseren. Wanneer de spiegel in stilstand is, werkt hij als een prisma. Met andere woorden de straal van de laser wordt in een bepaalde richting teruggekaatst. Als we die spiegel in actie brengen, zal de straal een “vlak” doorlopen, ook laservlak van de oscillerende spiegel genoemd. De spiegel in actie brengen wil zeggen dat deze spiegel in een heel korte tijd heen-en-weer wordt bewogen.



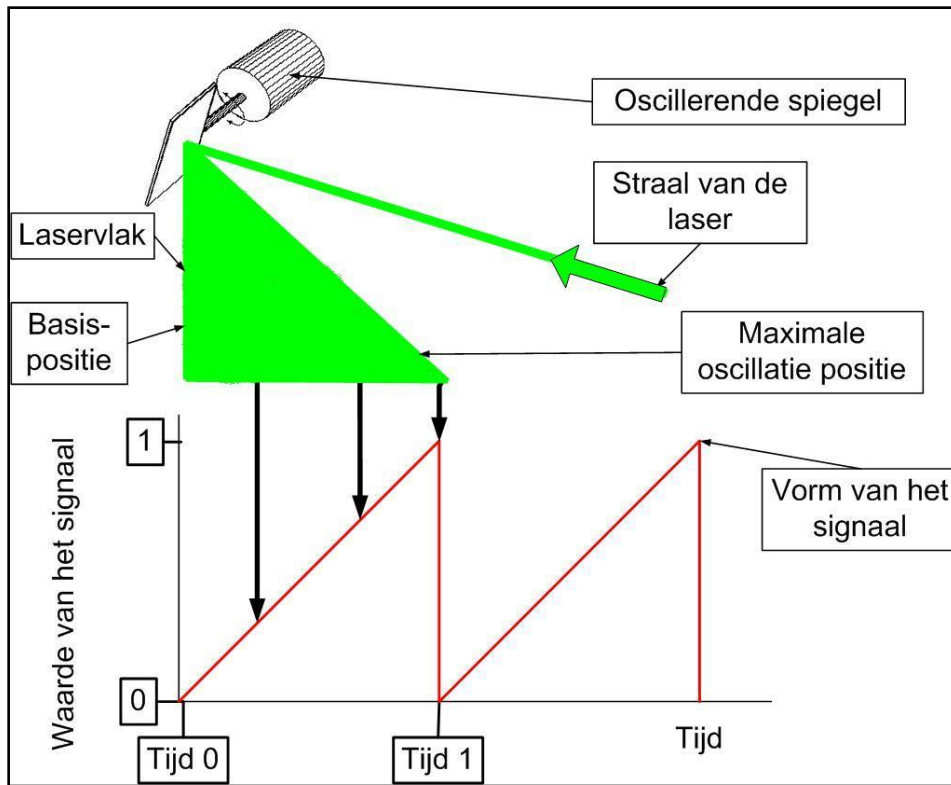
Figuren 69 en 70 - Tekening van een oscillerende spiegel. Actie van de oscillerende spiegel.

Om de oscillerende spiegel in actie te brengen, moeten we een signaal naartoe sturen. De vorm en de frequentie zijn de twee kenmerken van dit signaal. Door middel van een pulsgenerator kunnen we een signaal naar de spiegel zenden. De beweging van de spiegel volgt de vorm van het signaal. De frequentie verhogen betekent dat de spiegel meer heen- en teruggaande bewegingen in een bepaalde tijd zal maken. Hierdoor zullen we het contrast in de gecreëerde laservlak verhogen. De gebruikte vorm van het signaal was driehoekig. Driehoeksignalen zijn periodieke signalen die op een tijd 0 beginnen bij de waarde 0 en vervolgens lineair naar een waarde 1 stijgen.

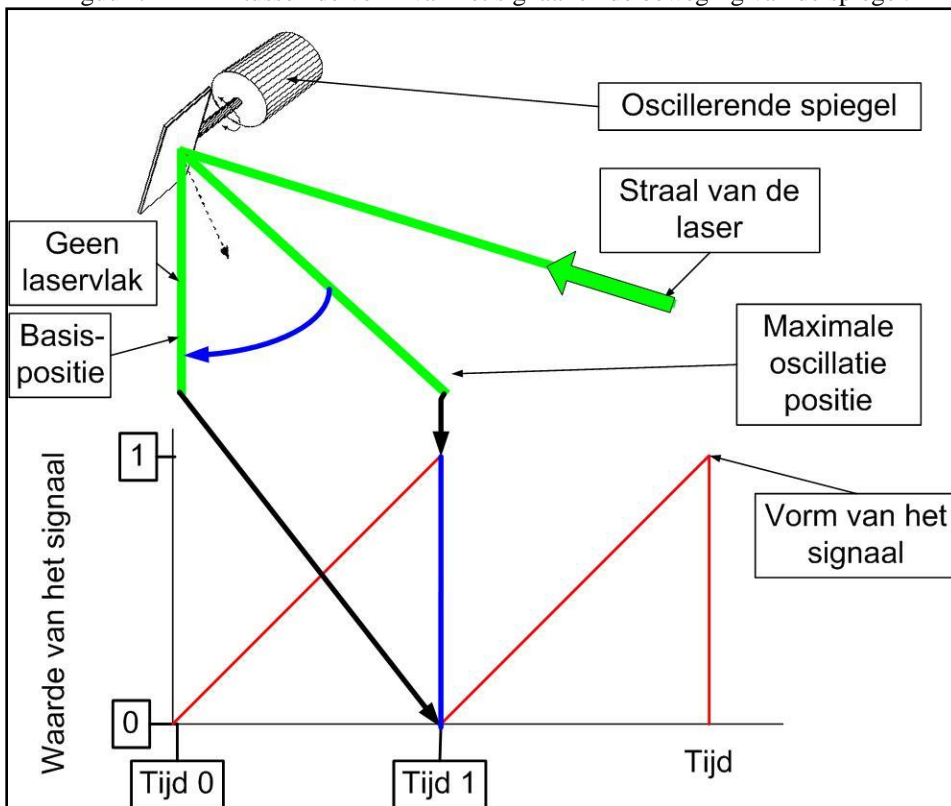


Figuur 71 - Driehoekig signaal.

Zoals hier boven gezegd, gaat de oscillerende spiegel de vorm van het signaal volgen. Dat wil dus zeggen dat op het ogenblik tijd 0 de oscillerende spiegel in zijn basis positie is. Tussen tijd 0 en tijd 1 beweegt de spiegel tot zijn maximale uitwijkingspositie. Op tijd 1 gaat de spiegel van zijn maximale uitwijking tot zijn basispositie terug. En dit in een heel korte tijd.

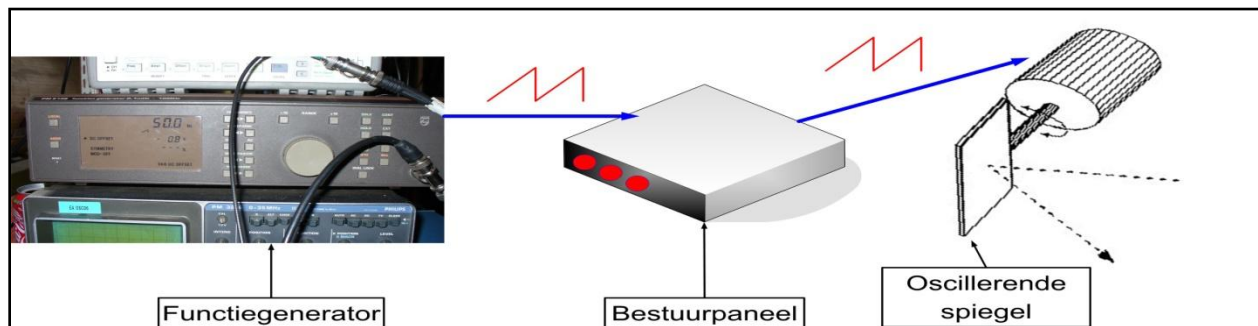


Figuur 72 - Link tussen de vorm van het signaal en de beweging van de spiegel.



Figuur 73 - Verandering van waarde 1 naar waarde 0.

Tussen de pulsgenerator en de oscillerende spiegel bevindt er zich een stuurpaneel. Met het stuurpaneel kunnen we de frequentie, de amplitude en de off-set van de spiegel regelen. De frequentie hoefde nooit door middel van het bestuurspaneel geregeld te worden maar wel door de pulsgenerator. Met de amplitude regelden we de breedte van de gecreëerde laservlak. Daarmee is het mogelijk om zich maar te concentreren op een zone (we verkleinen de breedte van het laservlak) of in tegenstelling is het mogelijk om de film uit te breiden. De off-set geeft de mogelijkheid om een film van een bepaalde breedte in de lengte te verplaatsen.

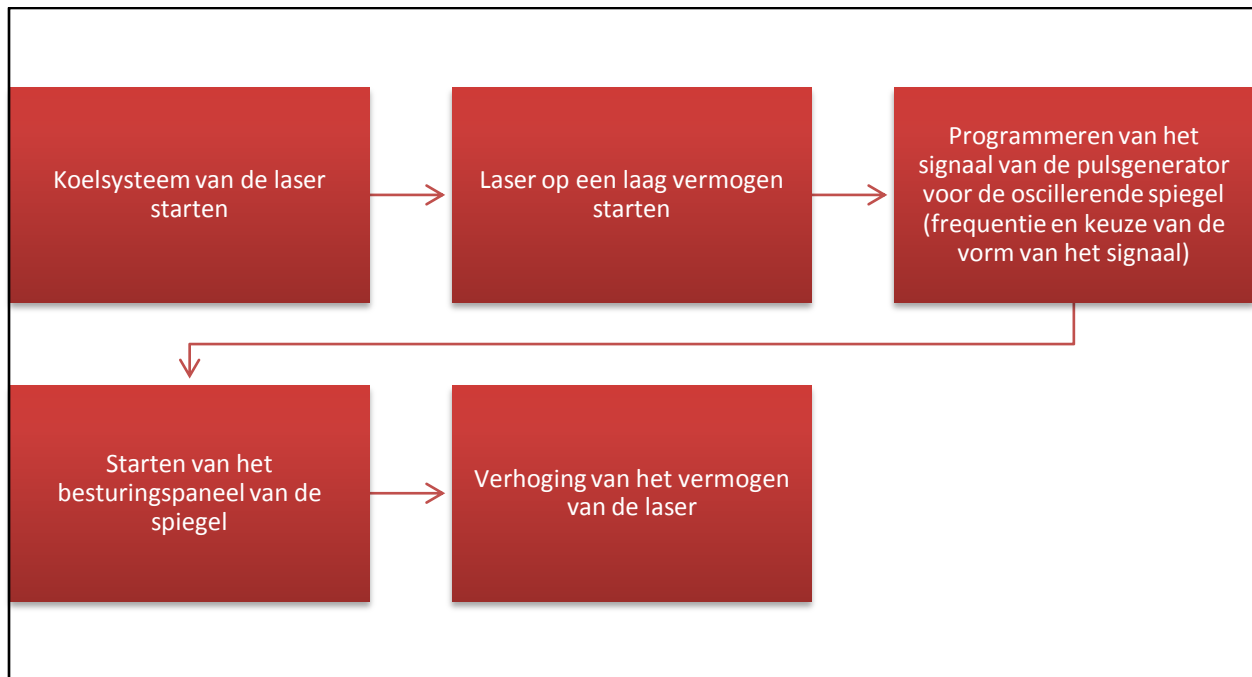


Figuur 74 - Pulsgenerator, het bestuurspaneel en de oscillerende spiegel.

Een laatste punt betreffende de oscillerende spiegel is zijn plaatsing. We plaatsen de spiegel aan de bovenkant van de windtunnel, zijn plaatsing varieert in functie van de plaats van het model. Om een goed meetresultaat te bekomen moet het laservlak van de gebruikte rookuitlaat van het schip tot 15 cm achter het “achterdek” gaan. De oscillerende spiegel wordt via het bedieningspaneel aan een pulsgenerator gekoppeld.

### 7.3.5 Procedure voor het starten van de visualisering

Om de visualisering te starten gebruiken we de volgende procedure.



Figuur 75 - Procedure voor de visualiseringmethode.

### 7.4 Plaatsing van het model in de windtunnel

Zoals eerder in een van de vorige hoofdstukken beschreven, hebben we versterkte slangen aan de dampuitlaten bevestigd. Die slangen moeten met de rookgenerator verbonden worden. Daarom is het noodzakelijk om een gat in de bodem van de windtunnel te boren. Dit gat wordt geboord in de roterende plaat waarop het model zich bevindt. Het schaalmodel moet absoluut in het midden van deze plaat geplaatst worden.

Normaal gezien worden de schaalmodellen aan de grond van de windtunnel bevestigd. Door het feit dat ons schaalmodel vrij zwaar is was het niet nodig om het te bevestigen.

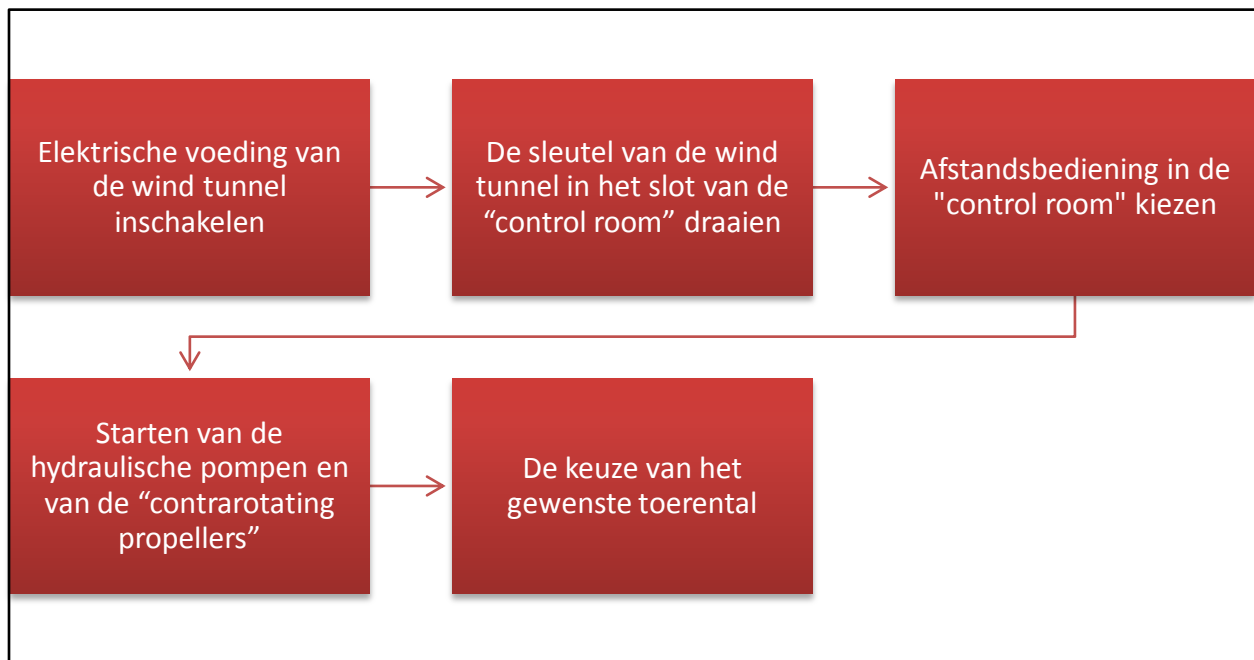




Foto 67 - Het model in de windtunnel.

## 7.5 Beschrijving van het praktisch gebruik van de L1-windtunnel

Om de windtunnel te kunnen gebruiken moeten we telkens een paar stappen volgen.



Figuur 76 - Procedure voor het starten van de windtunnel.

Op de vorige figuur kunnen we in de derde rechthoek zien dat we de afstandbediening kiezen. Inderdaad, gedurende de twee testweken hebben we altijd met de afstandbediening gewerkt omdat de controlekamer te ver van de testsectie ligt.

## **Hoofdstuk 8: Verwezenlijking van de testen in de L1-windtunnel van het von Karman Instituut**

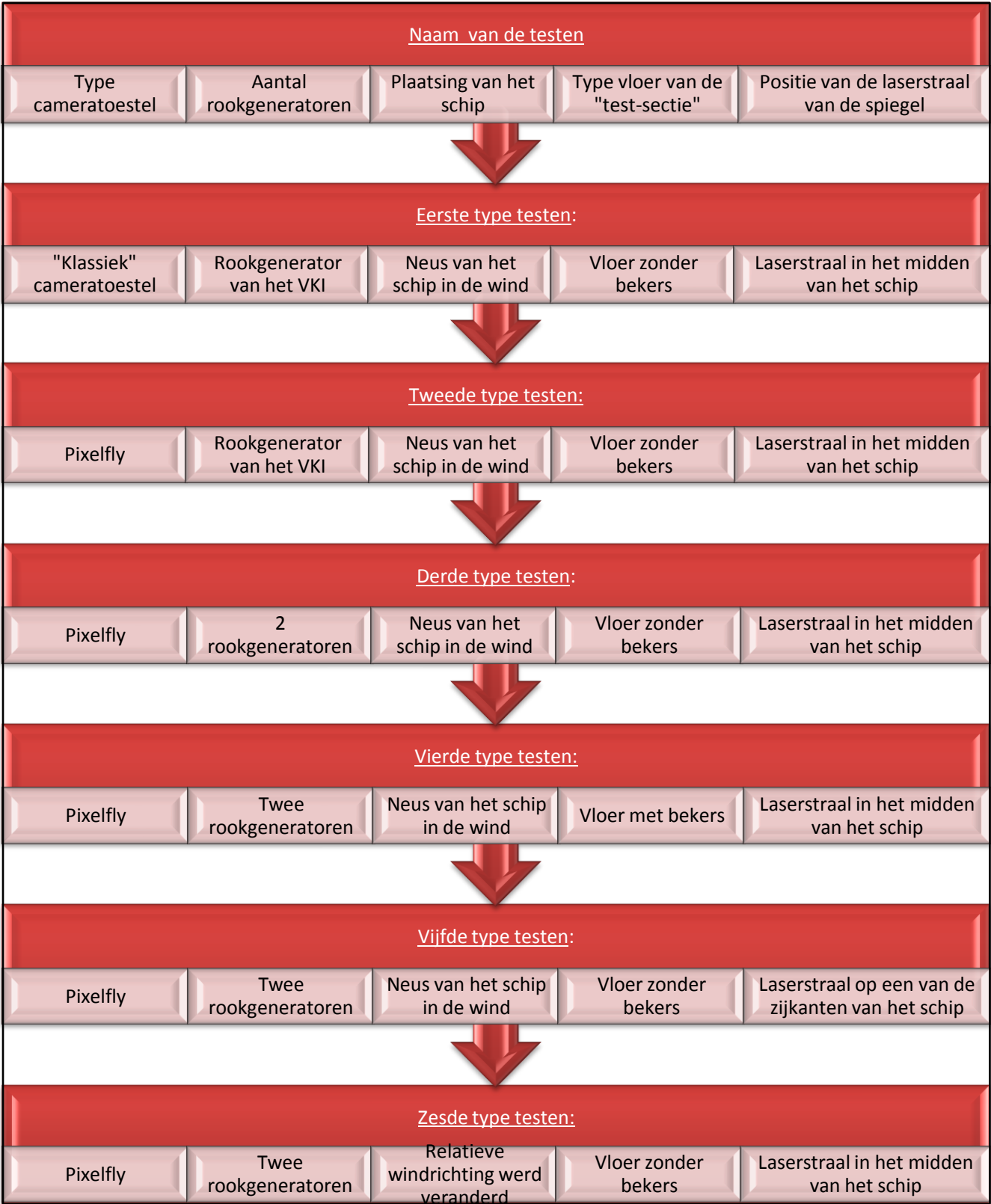
### **8.1 Inleiding**

Met het afgewerkte schaalmodel en na de voorbereiding van de windtunnel waren we klaar om met de wetenschappelijke testen te beginnen.

Het derde hoofdstuk geeft een chronologische beschrijving van de verschillende technieken die tijdens de testen gebruikt werden. Het woord “techniek” is in deze context gebruikt om de volgende punten (parameters) uit te leggen:

- De wijze van opslaan van de beelden
- Het maken van een rook van goede kwaliteit
- De positie van het model in functie van de wind
- De ruwheid van de bodem van de windtunnel (plaatsing van bekens)
- De positie van het laservlak van de oscillerende spiegel

Om het verloop van de testen te volgen, werden deze in zes types ingedeeld. In elk type van test worden de vijf hierboven vermelde punten beschreven. Door het feit dat we onervaren waren in de windtunneltechnieken, moesten we proberen om de hierboven beschreven parameters te optimaliseren. Door deze voortdurende verbetering konden wij met bevredigende testen eindigen. Het onderstaande schema geeft een chronologisch overzicht van de testen die uitgevoerd werden.



Figuur 77 - Chronologische beschrijving van de testen.

## **8.2 Eerste type testen**

### **8.2.1 Het cameratoestel**

Om de fenomenen die zich tijdens de testen voordeden te bestuderen en er besluiten uit te kunnen trekken was het noodzakelijk om deze testen te filmen. Daarvoor hebben we een klassiek cameratoestel in bruikleen gekregen. Dit soort cameratoestel is in de meeste foto- en camerawinkels beschikbaar en heeft niets van een professionele camera. De camera werkte met cassettes.

Om de windeffecten in de windtunnel niet te beïnvloeden, hebben we de camera op een driehoet buiten de windtunnel geplaatst. De camera werd dicht bij de ramen van de schuifdeuren geplaatst. Door het feit dat er trappen voor de deuren waren, was het niet gemakkelijk om deze camera goed horizontaal op te stellen. Speciale aandacht moest ook besteed worden aan de elektrische draadverbinding van de camera om te voorkomen dat die per ongeluk, bij het overstappen ervan, met de voeten zouden meegetrokken worden.

### **8.2.2 Het starten van de testen**

Door middel van deze camera en van de al geïnstalleerde onderdelen konden wij de eerste testen verwezenlijken. De omstandigheden van de eerste testen waren:

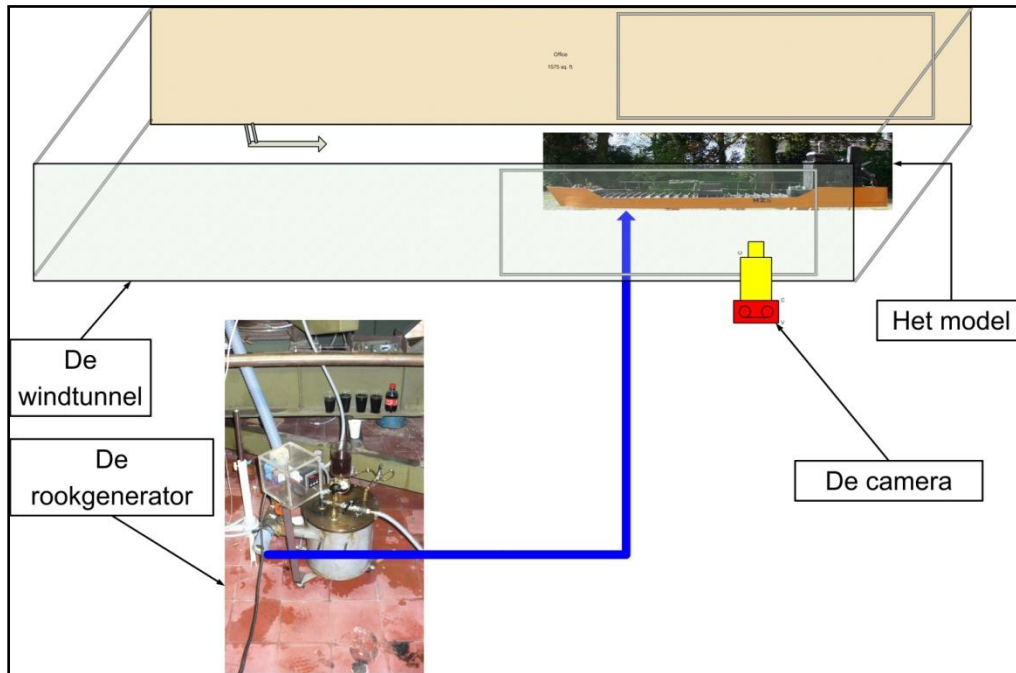
- de neus van het schip in de wind
- de rookgenerator van het von Karman Instituut werd gebruikt
- de vloer was glad ( zonder bekers)
- het laservlak van de oscillerende spiegel werd naar het midden van het schip gericht

Om de opgenomen beelden later te kunnen identificeren werd een logboek van de omstandigheden bijgehouden. In dit logboek werd een nummer aan elke test gegeven en werden de datum, de uren van de testen, de windsnelheden, de windrichting, de plaatsing van de camera, de plaatsing van de oscillerende spiegel en de gebruikte uitlaat genoteerd. Verder in deze tekst is de beschrijving van de laatste versie van het logboek te vinden.

Om met de testen te beginnen moesten we de rookgenerator, de windtunnel en de laser starten. In het begin van de testen werden maar lage windsnelheden door middel van het stuurpaneel gevraagd (bijvoorbeeld: 1 tot 3 m/s). Met de rookgenerator hebben wij rook door de

slangen naar de uitlaten van het schip geblazen. Wij hadden geen idee van de snelheid en van het debiet van rook. De persluchttoevoer van de rookgenerator werd niet op een nauwkeurige manier geopend. De eerste opnamen werden gefilmd en bekeken.

Hieronder krijgen we een algemeen beeld van de proefopstelling.



Figuur 78 - afbeelding van de gebruikte onderdelen.

## 8.2.3 Diverse problemen

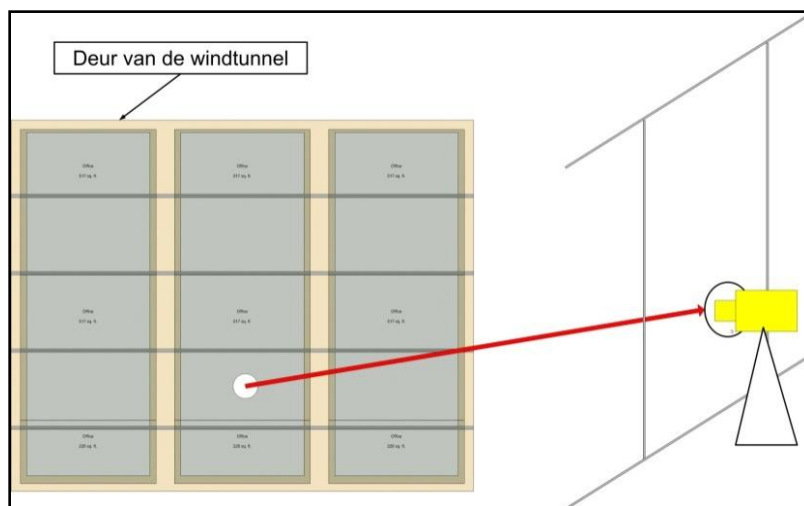
### 8.2.3.1 Kwaliteitsprobleem van de beelden

Bij het bekijken van de beelden was het duidelijk dat er te veel licht in de windtunnel was. Dit euvel diende weggewerkt te worden om goede en bruikbare beelden te kunnen schieten.

Een eerste poging om het probleem op te lossen, was de uitschakeling van de lichten die zich in de windtunnel bevonden. De testen werden hernomen maar de genomen maatregel gaf nog geen voldoening.

De tweede verbetering werd bekomen door de ramen van de deuren van de windtunnel te verduisteren. De fotograaf van het von Karman Instituut bezorgde ons daarvoor grote zwarte papieren vellen. De ramen werden met een tiental van deze vellen afgedicht. Maar het was nu niet meer mogelijk om van buiten de windtunnel te filmen. Op de plaats waar de camera opgesteld stond, werd een gatje in de papieren afscherming gemaakt. Om zeker te zijn dat er

geen licht de windtunnel binnen kwam hebben we een vuilniszak met een gat aan het zwarte papier geplakt. De camera werd onder deze vuilzak geplaatst. De lens van de camera werd door het gat in het papier bij het raam gebracht. Om na te gaan of de afscherming effectief werkte, werden de testen hernomen. De opnamen waren inderdaad al van een betere kwaliteit maar we dachten dat het mogelijk zou zijn om nog beter te doen.



Figuur 79 - Verduistering van de deuren van de windtunnel.

Een derde maatregel was de plaatsing van een groot zwart dekzeil met plakband bij de testsectie van de windtunnel. Door deze drie verduisteringsmethodes was er geen binnenvallend licht meer in de windtunnel.

Na een paar testen was het duidelijk dat de kwaliteit van de beelden beter maar niet voldoende was. Na een klein bezoek van Ir. Planquart en van Dr. Van Beeck hebben wij bijkomende inlichtingen gekregen. Voor hen was het duidelijk dat we een resolutieprobleem hadden. Deze gebrekkige resolutie zou de analyse van de foto's en films bemoeilijken. De oplossing hiervoor was om met een betere camera te werken. Deze oplossing zal bij het volgende type testen uitgelegd worden.

### 8.2.3.2 Probleem rookdebiet

Een ander probleem was dat de rookgenerator te weinig debiet gaf. Ondanks het feit dat de twee persluchttoevoeren volledig open stonden, was het uitgaande debiet onvoldoende.



### 8.2.3.3 Probleem luchtkwaliteit

Na een serie van testen is het noodzakelijk om de windtunnel te verluchten. Immers door de testen met de rookgenerator is er een accumulatie van de rook in de windtunnel. Om die te verluchten openen we de deuren en voeren we de windsnelheid op tot ongeveer 20 m/s. De verluchtingstijd is ongeveer één uur.

## 8.3 Tweede type testen

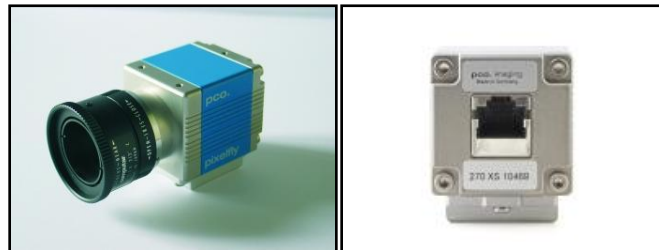
### 8.3.1 Overgang van het eerste type testen naar het tweede type testen

Om tot een beter resultaat te komen werd van cameratoestel veranderd. Het klassieke cameratoestel werd vervangen door een hoge resolutie camera (type Pixelfly van het merk PCO ) die de gegevens in “real-time” naar een computer doorstuurt. Om tot goede kwaliteitsbeelden te komen is het noodzakelijk om een paar stappen te volgen. Die stappen zijn hieronder beschreven.

### 8.3.2 De Pixelfly

#### 8.3.2.1 Beschrijving van de Pixelfly

De Pixelfly is een camera die samengesteld is uit een vervangbare lens, de camera zelf en een netwerk kabel. Deze camera vereist geen elektrische verbinding met het net daar deze camera door de computer gevoed wordt. De Pixelfly is in staat om 10 foto's per seconde te nemen, met andere woorden wil dat zeggen dat deze camera een opnamefrequentie van 10 Hz heeft. Als we deze foto's één na één bekijken is het mogelijk om er een film van te maken. Met deze camera kunnen we een volledige film van de verspreiding van de dampen maken. Het is ook mogelijk om op een foto te stoppen en die grondiger te bekijken en te analyseren. Deze camera werkt met een kleurschaal van zwart tot wit. Het is dus geen kleurencamera zoals we in de winkel kunnen kopen.

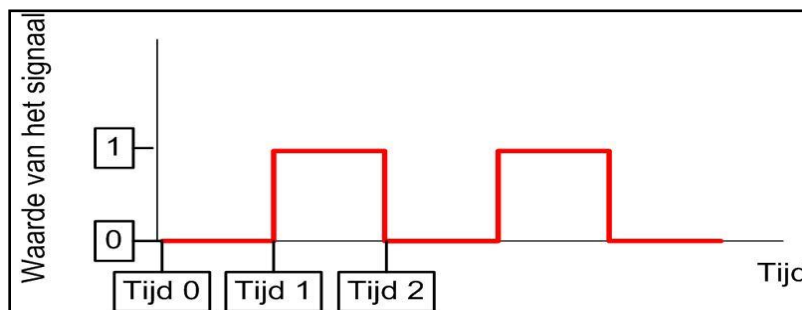


Foto's 68 en 69 - De Pixelfly.

### 8.3.2.2 Regeling van de Pixelfly

Om de beste opnamen van de testen met de Pixelfly te kunnen maken is het noodzakelijk om de Pixelfly te regelen. Daarvoor moeten we een signaal door middel van bijvoorbeeld een pulsgenerator naar de computer sturen. Door deze computer wordt het signaal naar de camera gebracht om een foto te nemen (door middel van de netwerkkabel).

Om goed te werken moet de Pixelfly (dus eerst de computer) een rechthoekig signaal krijgen. Rechthoekige signalen geven aan dat bijvoorbeeld tussen de tijd 0 en de tijd 1 er geen signaal (=0) doorgestuurd wordt. Na deze periode hebben we een andere periode van tijd 1 tot tijd 2 waar het signaal van maximale waarde (=1) gestuurd wordt. We kunnen dit signaal met een puls vergelijken. Tussen tijd 2 en tijd 3 zal het signaal terug de nulwaarde aannemen.

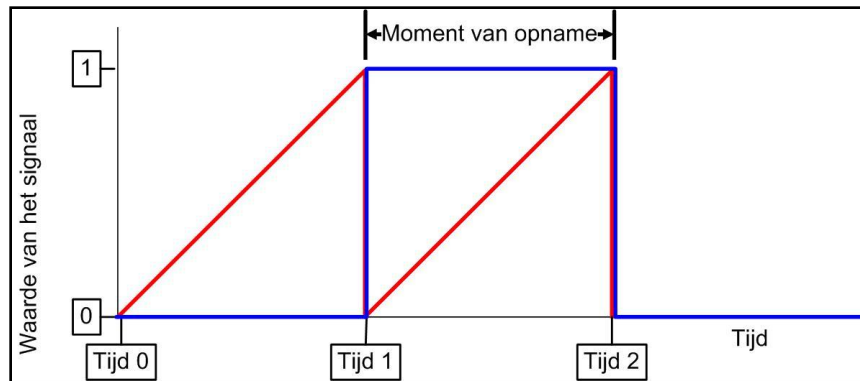


Figuur 80 - Rechthoekig signaal.

### 8.3.2.3 Synchronisatie van de Pixelfly en van de oscillerende spiegel

Een belangrijk punt bij de testen met de Pixelfly is dat de frequentie van de Pixelfly moet overeenkomen met de frequentie van de oscillerende spiegel. Dit probleem van samenvallen is meestal een probleem van verschillende vormen van de signalen. Het signaal nodig voor de Pixelfly is een rechthoekig signaal en het signaal nodig voor de oscillerende spiegel is driehoekig (zie punt 7.3.4 van deel 2 voor de oscillerende spiegel).

Hier moeten we een wijze van werken vinden om zeker te zijn dat de camera een foto gaat nemen wanneer de oscillerende spiegel niet op zijn basis positie terug komt. Met andere woorden wil dat zeggen dat er geen foto mag genomen worden wanneer het signaal van de oscillerende spiegel van 1 naar 0 gaat. En dit wegens het feit dat er voor een erg kleine tijdsperiode geen straal is. Dat wil dus zeggen dat wanneer de camera een signaal van de oscillerende spiegel krijgt gedurende de overgangsfase van 1 naar 0 signaal, de genomen foto volledig zwart zal zijn.



Figuur 81 - Driehoekig en rechthoekig signaal samen.

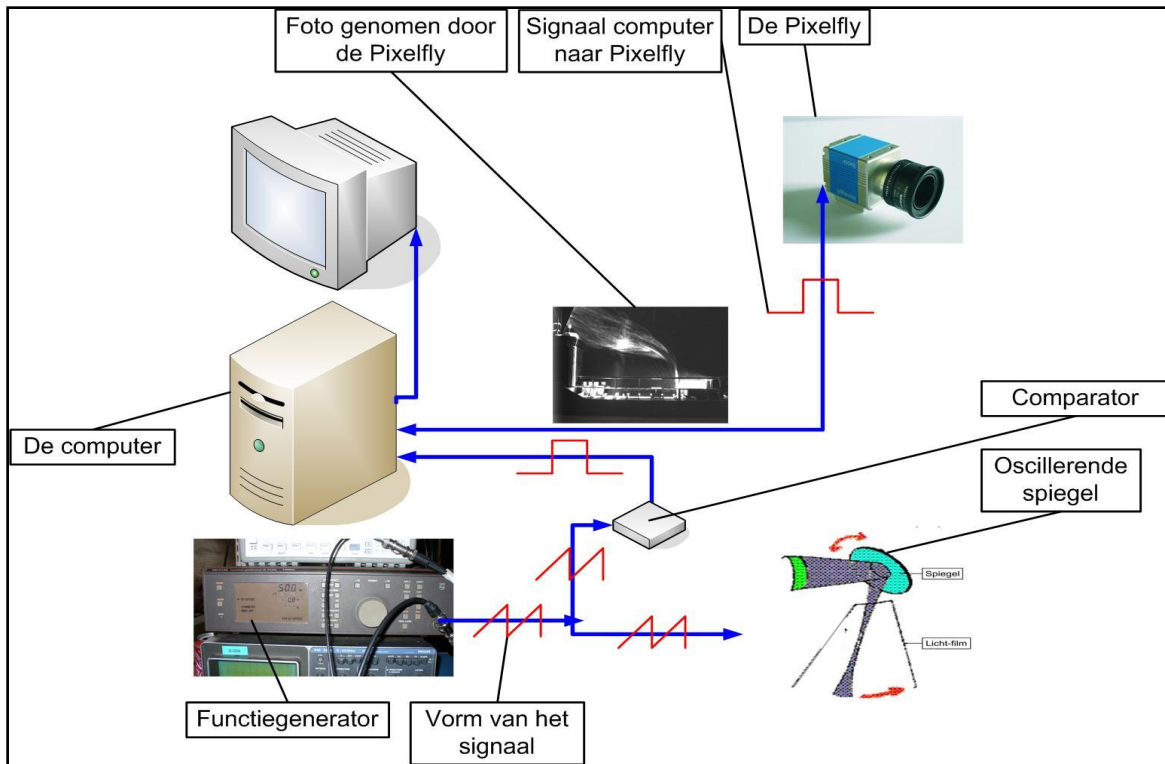
### 8.3.2.4 Praktische verwezenlijking

Uit de vorige alinea weten we dat we twee signalen nodig hebben. Een signaal voor de camera en een signaal voor de oscillerende spiegel. Tot nu toe weten we dat we al een signaal voor de oscillerende spiegel hebben. Een tweede signaal moest dus voor de camera gecreëerd worden. Daarvoor hebben wij twee technieken gebruikt. De eerste techniek was het gebruik van een comparator en de tweede techniek was de verwezenlijking van een tweede signaal met een tweede pulsgenerator en de vergelijking van de twee signalen door middel van een oscilloscoop. Deze twee technieken zullen hier onder verklaard worden.

#### 8.3.2.4.1 Praktische verwezenlijking door middel van de comparator

Het basis idee was het volgende: door middel van de pulsgenerator van de oscillerende spiegel werd geprobeerd om dit signaal opnieuw een tweede keer te gebruiken. We vertrekken dus van een pulsgenerator die een driehoekig signaal met een frequentie van 10 Hz geeft. Deze frequentie is noodzakelijk omdat de camera maar 10 foto's per seconden kan nemen terwijl de oscillerende spiegel veel meer dan 10 heen-en-terug bewegingen per seconde kan maken.

De uitgang van de pulsgenerator werd dan in twee gesplitst. Aan deze twee uiteinden werden netwerkkabels bevestigd. Een van deze twee kabels gaat naar het besturingspaneel van de oscillerende spiegel terwijl de tweede naar een comparator gaat. Deze comparator werd ons door Mr. Istvan Horvath bezorgd. Deze comparator maakt het mogelijk om een driehoekig signaal in een rechthoekig signaal om te vormen. Door middel van een kabeltje zou dit signaal naar de computer en daarna naar de Pixelfly gebracht worden. Deze techniek is heel handig omdat deze twee signalen gelijktijdig aankomen bij de oscillerende spiegel en de camera.



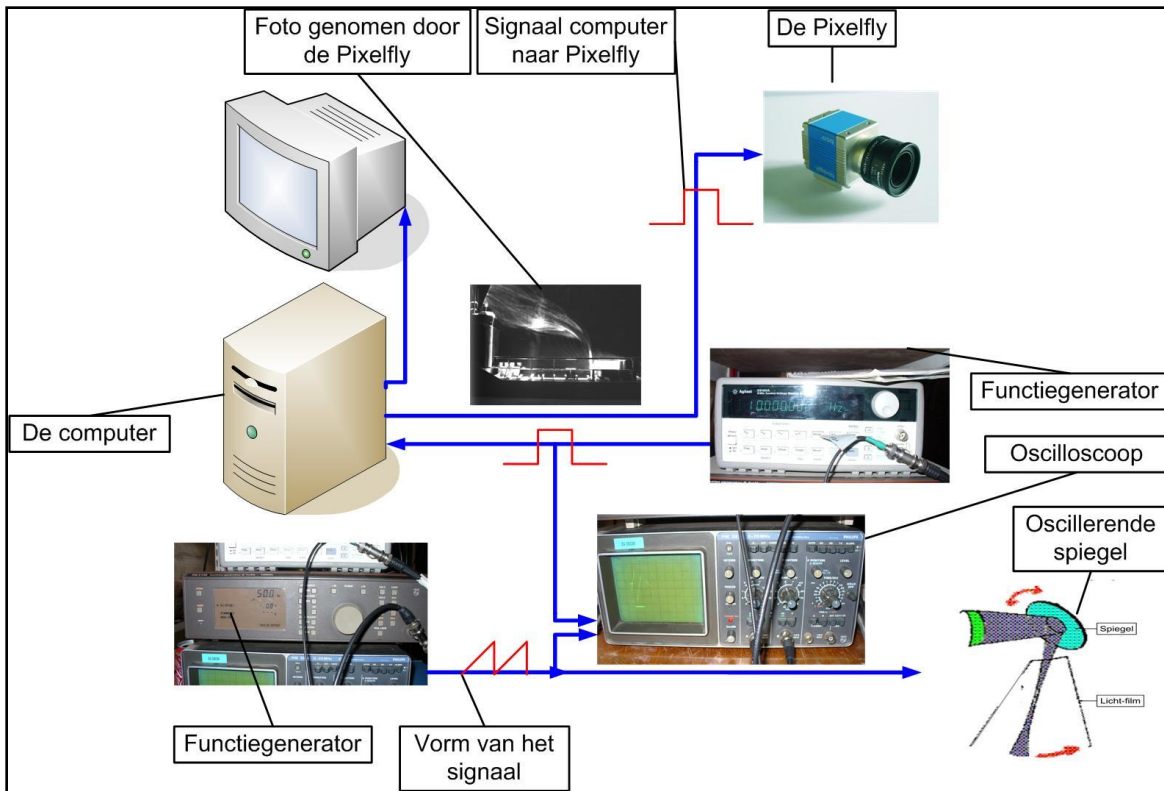
Figuur 82 - Eerste praktische synchronisatie camera – oscillerende spiegel.

Wat hierboven beschreven werd is een goede theoretische benadering. Na een paar testen hebben we gezien dat er toch nog iets mis was. Daarom hebben we aan de elektriciens gevraagd om de comparator na te zien. Een paar uren later kregen we een negatief antwoord. Het probleem lag bij de comparator zelf. Deze kon hersteld worden, maar dat zou 2 à 3 dagen in beslag nemen. Dat was niet haalbaar waardoor het noodzakelijk was om een andere oplossing te vinden.

#### 8.3.2.4.2 Praktische verwezenlijking door middel van een tweede pulsgenerator

Aangezien de vorige techniek onbruikbaar was moesten we een andere manier van werken vinden. De vervangingsmethode was om twee pulsgeneratoren te gebruiken.

Voor de oscillerende spiegel gebruiken we dezelfde pulsgenerator als bij de eerste benadering. Daarna gebruiken we een tweede pulsgenerator die een rechthoekig signaal met een frequentie van 10Hz genereert naar de Pixelfly (via de computer). Om foto's op het goede moment te kunnen nemen, moeten we deze twee signalen vergelijken. Hier wil dat zeggen dat de signalen goed samen moeten vallen. Daarom gebruiken we een oscilloscoop. Deze oscilloscoop is aan de uitgangen van de twee pulsgeneratoren gekoppeld.

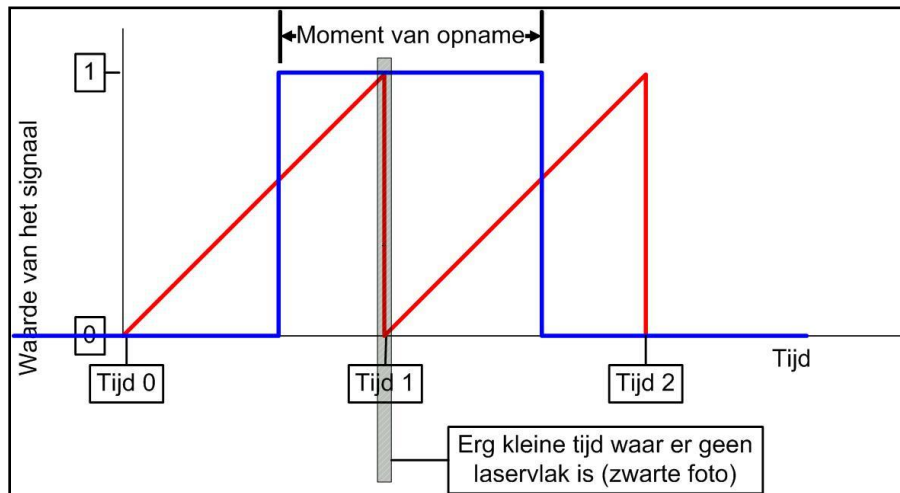


Figuur 83 - Tweede praktische synchronisatie camera – oscillerende spiegel.



Foto 70- De boven vermelde instrumenten tijdens de testen.

Op het scherm van de oscilloscoop hebben we nu de twee signalen: een driehoekig en een rechthoekig. Om tot een perfecte regeling te komen is het noodzakelijk dat het driehoekig signaal in het rechthoekig signaal past (of anders om). Als het rechthoekig signaal in vertraging is ten opzichte van het driehoekig dan hebben we een kans dat de Pixelfly een zwarte foto oplevert. Dit gebeurt op het ogenblik wanneer het driehoekige signaal van een waarde 1 naar een waarde 0 zal dalen.



Figuur 84 - Vertraging van een van de signalen.

De signalen moeten in fase zijn, en dit wordt gecontroleerd via de oscilloscoop.

### 8.3.2.5 Camware software

Nu zijn we er zeker van dat de camera de foto's op het goede ogenblik zal nemen. De foto's moeten nog gevisualiseerd worden. Het programma dat we gebruiken is: "Camware". Dit programma is op het internet beschikbaar. Met dit programma is het mogelijk om een "real-time" visualisatie met de camera te realiseren.

Door middel van "Camware" zullen we de lens van de camera regelen. Door de lens te regelen kunnen we ofwel inzoomen ofwel uitzoomen en kunnen we ook de netheid van het beeld regelen. Dat wil zeggen dat we de instellingen van de lens veranderen en dat we gelijktijdig op het scherm van de computer zien of het beeld van goede kwaliteit is. We voeren dus een "real-time" regeling van de lens uit.

Met "Camware" werden de opnamen bekeken en opgeslagen. In "Camware" is er een optie waardoor het aantal foto's beperkt kan worden. Het maximale aantal foto's is 369. Daarom

hebben we altijd filmen van 369 foto's opgeslagen. "Camware" is geschikt om de foto's op te slaan maar niet om ze te bewerken. Ik verwijs naar het eindwerk van mijn collega en vriend Cédric Brichart voor wat de uitleg over de beeldverwerking betreft.

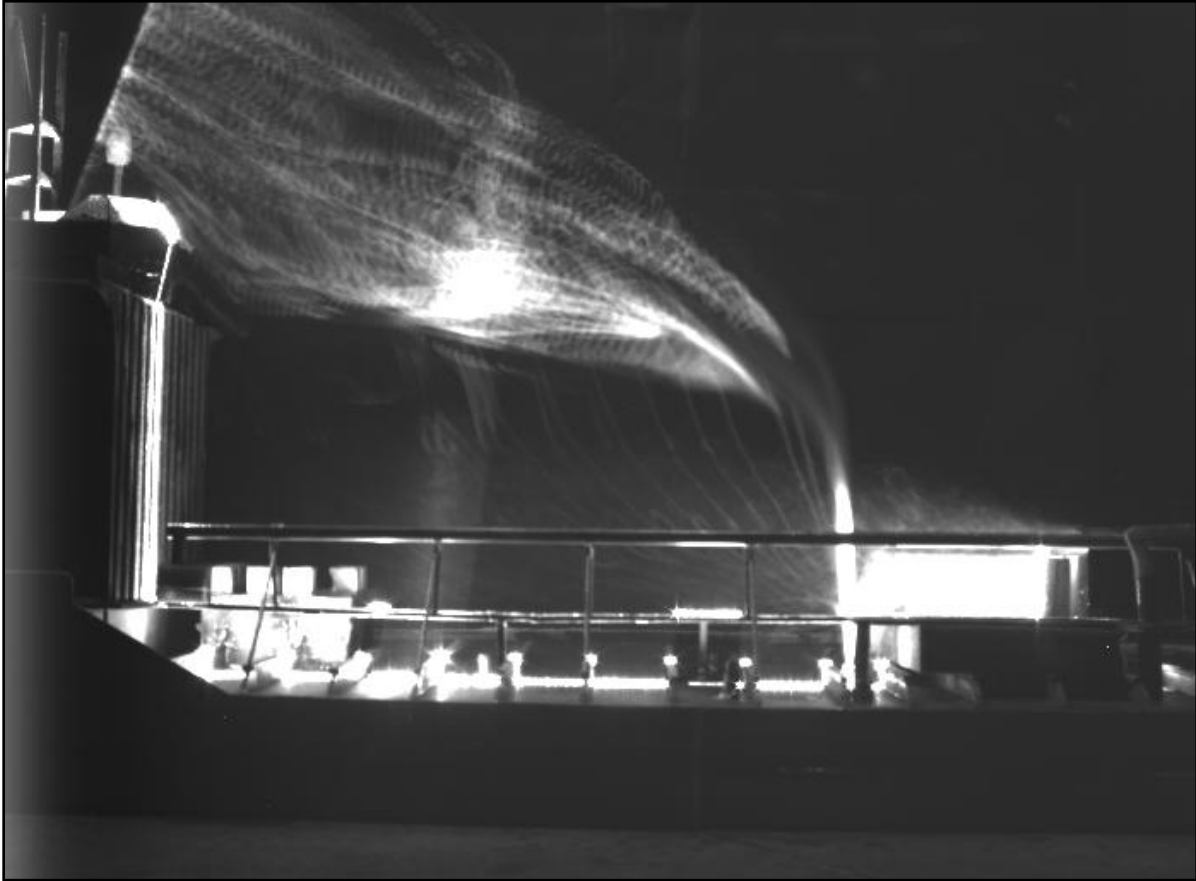


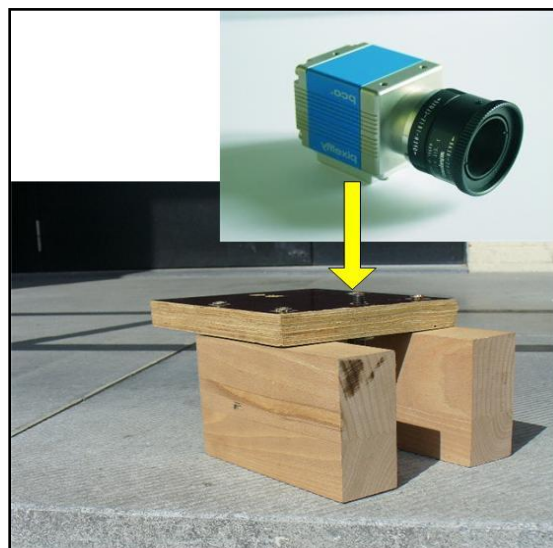
Foto 71 - Foto genomen door de Pixelfly.



### 8.3.2.6 De plaatsing van de camera

De juiste plaatsing van de camera vereiste enige tijd. Een drievoet werd gebruikt om de Pixelfly in de goede positie te zetten. Zoals bij het eerste type testen hebben we eerst de camera en zijn drievoet buiten de windtunnel geplaatst. Die werd ter hoogte van het gat in de zwarte afscherming en onder de vuilzak geplaatst. Een paar foto's werden in deze positie geschoten. Door het feit dat de camera vrij ver van het model stond gebruikten we een andere lens. Deze lens had een groter zoombereik.

Na een paar testen hebben we beslist om de camera met zijn drievoet in de windtunnel te plaatsen. Daarvoor moesten we het gat dat in de deur was gebruiken. Dit gat werd gebruikt om de verbindingkabel tussen de camera en de computer in de windtunnel te laten gaan. Het was dus noodzakelijk om heel voorzichtig te zijn wanneer we de deur zouden openen om de camera daarbij niet omver te trekken. Tijdens een paar uur werden zo testen gedaan. We waren niet echt tevreden over het resultaat door het feit dat de camera te hoog opgesteld was. De camera diende een beetje lager geplaatst te worden. Er was echter geen kleinere drievoet bij het von Karman Instituut beschikbaar. Het was dus duidelijk dat we een steunpunt moesten bouwen. Dit steunpunt werd met drie stevige houten blokken gemaakt. De camera werd op de bovenste plank van de steun bevestigd en met een boutje op de plaat vastgeschroefd. Zoals op iedere camera bevindt er zich een bevestigingsdraad om de camera vast te schroeven.



Figuur 85 - De Pixelfly en de zelfgemaakte steun.

Tot nu toe hadden we foto's met een goede resolutie en we hadden ook een stevig bevestigingspunt voor de camera. Voor de toekomstige analyse en onderzoek van de foto's beslisten we om het logboek nog beter te detailleren. De frequentie van de pulsgenerator en deze van de camera werden bij de details van het eerste logboek gevoegd.

### 8.3.3 Verandering van rookgenerator

Na meerdere testen met de bovenstaande onderdelen hebben we beslist om het rookdebiet te verhogen. Inderdaad, de druk en het debiet van de rookgenerator was te klein. Een debiet- en drukverhoging moesten met een ander apparaat verwezenlijkt worden. Bij het von Karman Instituut waren er geen andere generatoren beschikbaar. Om toch een beter debiet te kunnen verwezenlijken moesten we absoluut een nieuwe techniek vinden. We wisten dat er op de Zeevaartschool vroeger al testen met een rookgenerator gedaan werden. Deze rookgenerator is een "Colt 4 generator" gebouwd door "Corona Integrated Technologies".



Foto 72 - De "Colt 4" van "Corona Integrated Technologies".

Deze rookgenerator werd aan een van de uitlaten van het model bevestigd. Om de versterkte slang aan de rookgenerator te kunnen bevestigen was het noodzakelijk om een verlengstuk in koper aan de rookgenerator te voorzien.

Op deze generator bevindt er zich een knop. Door deze knop in te drukken wordt er rook aangemaakt. Dit was een bijkomend probleem omdat er iemand voortdurend naast de generator moest blijven staan om de drukknop ingedrukt te houden om een onafgebroken debiet te verkrijgen.

Een ander probleem was dat deze generator een groot rookdebiet leverde. Simulaties met kleine debieten voor de "tank cleaning operations" konden dus niet uitgevoerd worden. De enige

testen waarvan we dachten dat ze mogelijk zouden zijn met deze rookgenerator was de “P/V valve” simulaties.

Het was dus nodig om een middel te vinden om rook te produceren op een goede druk en met een gewenst debiet. De oplossing die we vonden wordt bij het derde type testen uitgelegd.

## **8.4 Derde type testen**

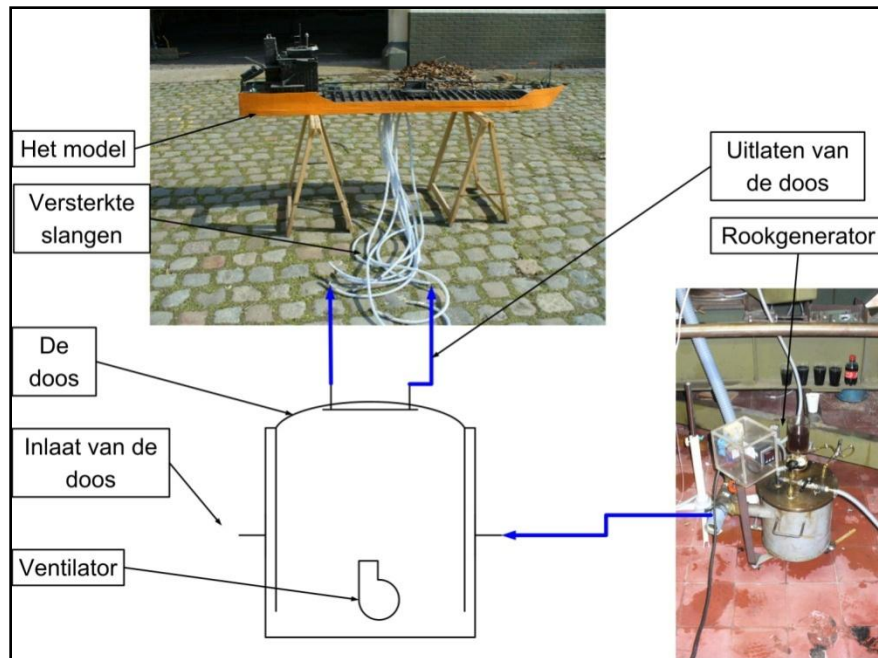
Voor dit type testen hebben we de Pixelfly gebruikt. De neus van het schip stond bij deze test in de wind. Er werden geen bekers op de vloer van de windtunnel bevestigd. De straal van de oscillerende spiegel was naar het midden van het schip gericht. In dit type testen trachten we om een constant debiet en druk van rook te bekomen.

### **8.4.1 Verwezenlijking van het gewenste debiet en druk**

Een goed idee werd gegeven door de leden van het von Karman Instituut. Het idee was om een grote doos te gebruiken. Die doos kon de gecreëerde rook van een van de twee generatoren opslaan. Deze doos had twee ingangen en een tiental uitgangen. De uitgangen van de doos werden op de inlaten van het model, door middel van de al bestaande versterkte slangen, aangesloten. In deze doos bevindt er zich een ventilator.

#### **8.4.1.1 Het combineren van de doos en van de rookgenerator van het von Karman Instituut**

Eerst werd de werking van deze doos met de rookgenerator van het von Karman Instituut uitgeprobeerd. Een eerste stap was om een maximale hoeveelheid rook in deze doos op te slaan. Daarna dachten we door middel van de ventilator een grotere snelheid aan de dampen te geven. Tegelijkertijd zou de rookgenerator blijven rook inspuiten.



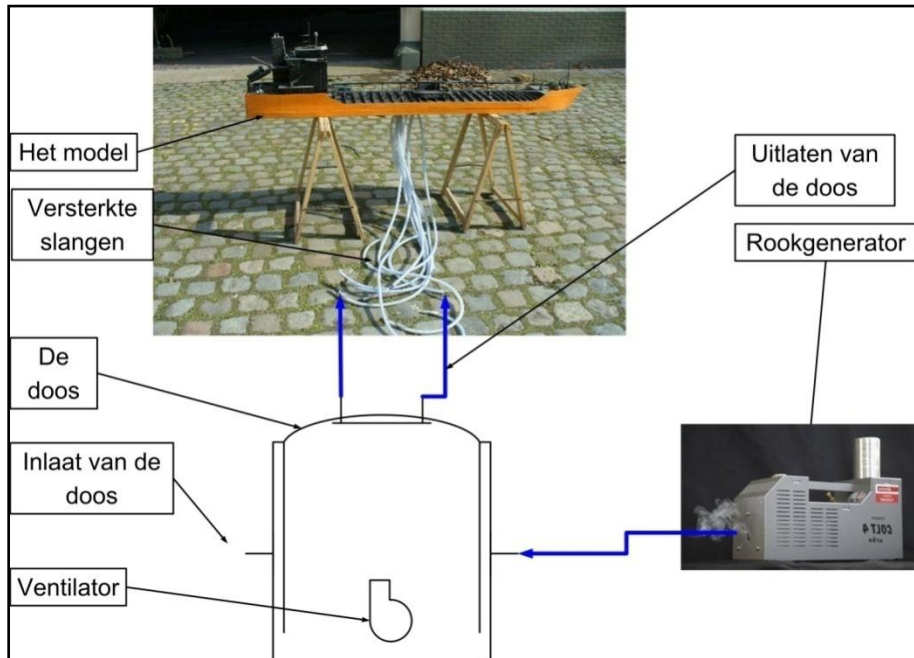
Figuur 86 - Doos en rookgenerator van het von Karman Instituut.

De snelheid van de rook werd aan de uitlaten van het schip gemeten door een speciale windmeter. Het principe berust op de continue verwarming van een gevoelig element. Zonder wind wordt de temperatuur van dit element constant gehouden. Wanneer er wind aanwezig is, zal de temperatuur dalen, en is er meer energie nodig om het gevoelige element terug op de ‘normale’ temperatuur te brengen. Deze extra benodigde energie is maat voor de windsnelheid. Als we de snelheden uit de vorige testen (eerste en tweede type) met deze uit de testen met de doos vergeleken, stelden we vast dat de snelheid van de dampen niet noemenswaardig verhoogd werd. Dit was maar een vaststelling die zonder instrumenten gedaan werd. Een tweede vaststelling was ook dat de rook minder zichtbaar bleek te zijn.

#### **8.4.1.2 Het combineren van de doos en van de rookgenerator van de Zeevaartschool**

Ten tweede hebben we de rookgenerator van de Zeevaartschool aan de doos verbonden. Hiermede konden we een grote hoeveelheid rook ontwikkelen. We dachten dat het door middel van de ventilator in de doos mogelijk zou zijn om een goed debiet en een goede kwaliteit van rook te bekomen. De ventilator was echter niet in staat om een voldoende groot debiet te leveren.

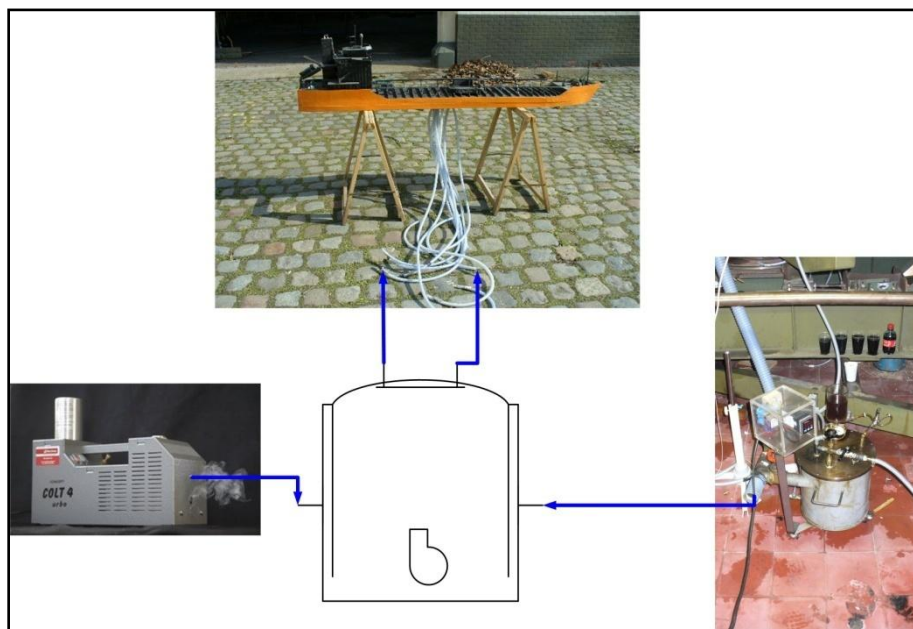
Met de eerste techniek was de kwaliteit van de rook niet voldoende terwijl met de tweede techniek het rookdebiet onvoldoende was.



Figuur 87 - Doos en de rookgenerator van de zeevaartschool.

### 8.4.1.3 Het combineren van de doos en van de twee rookgeneratoren

Om tot een afdoende oplossing te komen besloten we de twee rookgeneratoren met de doos te verbinden. Dit kon gemakkelijk verwezenlijkt worden gezien de doos twee ingangen had.



Figuur 88 - De doos en de twee rookgeneratoren.

Deze techniek werd gebruikt om een goed debiet en een goede druk te bekomen. De generator van het von Karman Instituut verwezenlijkte de goede snelheid aan de uitlaat. De generator van de Zeevaartschool leverde rook van een goede kwaliteit.

De gekozen inlaten van het schip werden met de doos verbonden. De niet gebruikte uitlaten van de doos werden met plakband gedicht. Daarna was het tijd om de rookgenerator van het von Karman Instituut te starten. Eenmaal het maximale debiet van deze rookgenerator bereikt werd, hebben we de doos met rook van de rookgenerator van de Zeevaartschool gevuld.

#### 8.4.2 Verfijning van de uitlaatsnelheden

We hadden nu alles in de hand om goede testen te verwezenlijken. Gedurende ons verblijf in de windtunnel werden de meeste testen met deze combinatie van rookgeneratoren uitgevoerd.

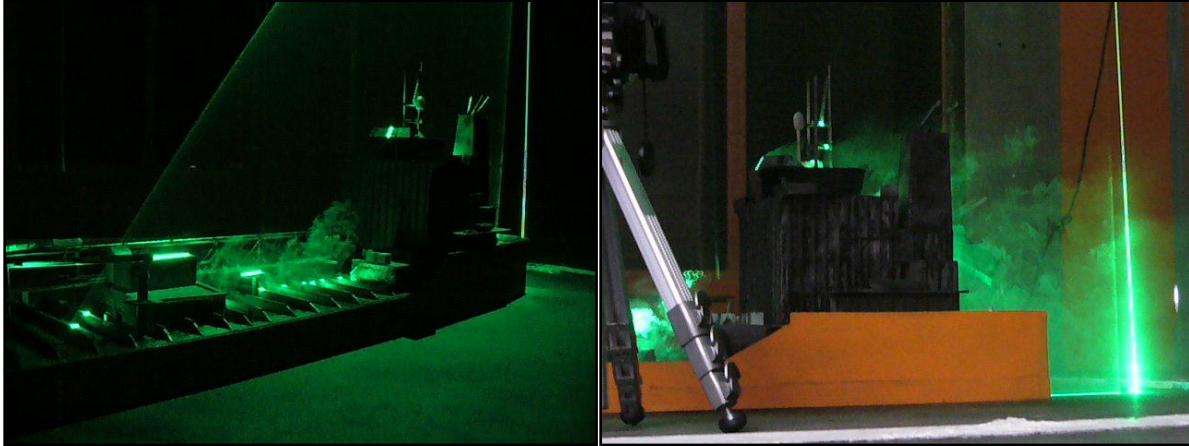
Zoals reeds beschreven hadden we een windmeter van het von Karman Instituut in bruikleen. Daarmee konden wij de uitlaatsnelheid van de rook meten. Gedurende de testen hebben we met verschillende snelheden gewerkt. De volgende tabel geeft de geteste uitlaatsnelheden.

Uitlaatsnelheden van de rook in m/s.						
0	0.65	0.7	1	2	3	4

Tabel 9 - Uitlaatsnelheden van de rook in m/s.

Om een snelheid van 0.65m/s te kunnen bereiken moesten we absoluut de persluchtingang van de rookgenerator tot het maximum sluiten. Om 4 m/s te bereiken moesten we de perslucht ingang van de rookgenerator tot het maximum openen. Deze werkwijze kon bestempeld worden als een methode van “trial and error”. Deze techniek werd gekozen omdat we de verhoudingen tussen de werkelijke omstandigheden en deze in de windtunnel niet kenden. Normaal gezien is het noodzakelijk om met wiskundige vergelijkingen te werken. Bijvoorbeeld moeten we de windsnelheden en de uitlaatsnelheden van de werkelijkheid met de windtunneltesten vergelijken. Maar door het feit dat we deze vergelijkingen niet kenden hebben we de “trial and error” wijze gebruikt. Na de testweek hebben onze promotoren publicaties over deze verhoudingen gelezen. Het is dus zeker dat tijdens de volgende testen meer aandacht aan dit punt zal gegeven worden.





Foto's 73 en 74 - Foto's genomen gedurende het derde type testen.

### **8.5 Vierde type testen**

Na vele testen met de Pixelfly en met de combinatie van de twee rookgeneratoren werden nog bijkomende testen gepland. Toen we de windtunnel voor de eerste keer binnen traden hadden we gemerkt dat de vloer van de tunnel met bekertjes bedekt was. De leden van het von Karman instituut stelden dat deze bekertjes weggehaald mochten worden, dit omdat er geen hindernissen op het zeeoppervlak voorkomen. Deze bekertjes worden gebruikt wanneer we de grenslaag willen wijzigen. Door deze bekertjes kunnen de bewegende luchtdeeltjes niet meer lineair bewegen. Deze bekertjes worden bijvoorbeeld gebruikt om de stadsarchitectuur te testen, waarbij er naar gestreefd wordt om de invloed van de omliggende gebouwen en hindernissen na te gaan. Op zee zijn er geen hindernissen aanwezig en daardoor werden de testen meestal zonder de bekertjes uitgevoerd. Toch hebben we de bekertjes geplaatst om de omstandigheden in de havens te kunnen simuleren. Het was ook belangrijk om testen in de havencondities uit te voeren daar de chemicaliëntankers ook daar hun tanks ventileren. Havenomstandigheden betekent dat de wind van zijn oorspronkelijke richting kan afwijken door de havenconstructies die zich dicht bij het schip bevinden.

Deze testen met bekertjes waren dus een goede gelegenheid om ons onderzoek te diversifiëren en uit te diepen. Om besluiten te kunnen trekken uit de verschillen die zich voordeden bij de testen met de twee vloertypes is het uiteraard noodzakelijk om de foto's te bestuderen en te analyseren.



## **8.6 Vijfde type testen**

### **8.6.1 Inleiding over het vijfde type testen**

Voor de uitvoering van het vijfde type testen hadden we beslist om de vloer met de bekers weg te nemen. Het schip stond zoals in de vorige testen, met de neus in de wind. De Pixelfly werd als camera gebruikt. De rook werd door middel van de twee rookgeneratoren en van de doos geproduceerd.

Tot nu toe hebben wij gedurende de eerste vier types van testen de gelegenheid gehad om de stroom van dampen in het midden van het model te visualiseren. We hadden dus geen gegevens over de verspreidingen van de dampen rond de zijkanten van het schip. Om deze verspreidingen te onderzoeken was het noodzakelijk om een techniek te vinden waarmee het mogelijk zou zijn om de straal van de oscillerende spiegel op de zijkanten te richten. Inderdaad, onderzoek was nodig omdat we er geen idee van hadden hoeveel rook er zich op de zijkanten van het model verspreidde.

### **8.6.2 Praktische verwezenlijking van het vijfde type testen**

Om dit onderzoek te verwezenlijken moest de oscillerende spiegel naar stuurboord of bakboord verplaatst worden. Hierbij waren er hoegenaamd geen moeilijkheden te verwachten. De spiegel van het plafond werd losgeschroefd en iets meer naar de kant terug vastgezet. De straal van de laser moest nog naar de spiegel gericht worden. Daarom werd een derde prisma gebruikt. De plaats van het eerste prisma werd niet veranderd. Het tweede prisma werd over een hoek van 90° in de richting van de oscillerende spiegel gedraaid. Een derde prisma werd gebruikt om de straal terug in de lengterichting van de windtunnel te brengen naar de oscillerende spiegel.



Figuur 89 - Testen met de laserstraal op de zijkant.

### **8.6.3 Beperkingen van de verplaatsing van de oscillerende spiegel**

Door de verplaatsing van de oscillerende spiegel hadden we nu een laserstraal op een van de zijkanten van het model. Door het feit dat we maar met een dunne laserstraal werkten, was het niet mogelijk om een perfecte visualisatie van de verspreiding te bekomen. Inderdaad, een perfecte visualisatie is maar gegeven wanneer de oscillerende spiegel altijd in de breedte verplaatst is. Voor het uitvoeren van de testen diende de visualisatie verbeterd te worden. Een idee was om de oscillerende spiegel over  $90^\circ$  te draaien. Daardoor zou het mogelijk zijn om de rook die van de twee kanten van de accommodatie komt, samen te visualiseren.

Het feit dat we de straal naar een kant hebben gericht stelt een probleem voor de visualisatie van de uitlaat. Normaal gezien moet de uitlaat waar de rook uitkomt altijd in het laservlak liggen. Voor de visualisatie zelf is er geen probleem maar het zou wel een probleem scheppen wanneer we de analyse van de concentraties 'maken met behulp van de foto's.

## **8.7 Zesde type testen**

### **8.7.1 Inleiding over het zesde type testen**

De vorige testen werden telkens uitgevoerd in een situatie waar het schip met de neus in de wind stond. In de werkelijkheid weten we dat de wind niet altijd van vooraan komt. Daarom werd er met een nieuwe serie van testen begonnen. Het doel was om testen uit te voeren bij verschillende relatieve windrichtingen. Hierdoor wordt het mogelijk om de effecten van de dampen uit andere windrichtingen te visualiseren.

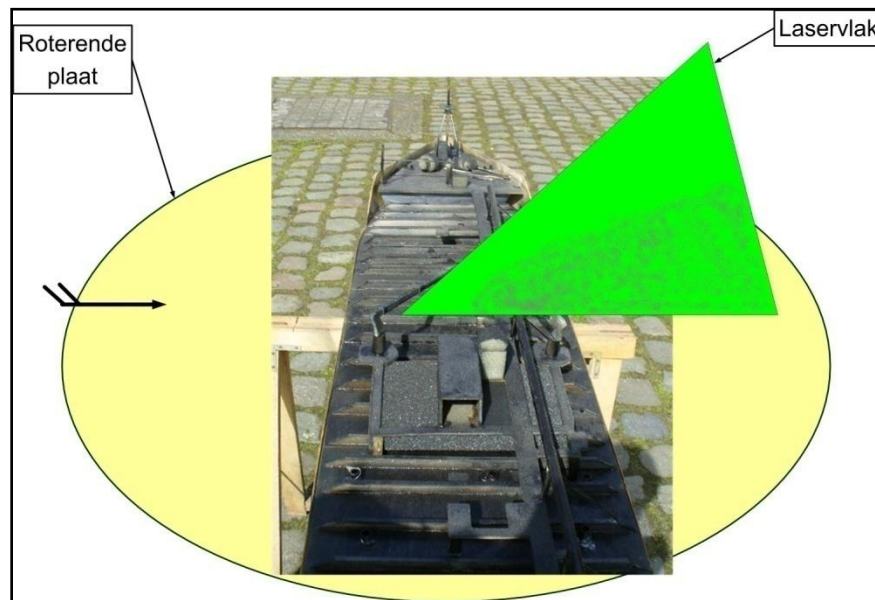
## 8.7.2 Praktische verwezenlijking van de testen

### 8.7.2.1 Rotatie van het model

Zoals reeds gezegd werd, bevindt het model zich op een roterende plaat. Door middel van deze roterende plaat kon het model gemakkelijk gedraaid en in de gevraagde richting gezet worden. Het verdraaien van het model werd wel enigszins bemoeilijkt door de stijfheid van de slangen langs waar de rook wordt aangevoerd. Die oefenen een trekkracht uit op de inlaatpijpen van het dek. Een mogelijke beschadiging ervan was niet ondenkbeeldig en het risico bestond dat de inlaatpijpen uit het model zouden gerukt worden. Tijdens het draaien van het schaalmodel werden de slangen daarom voorzichtig manueel meegedraaid.

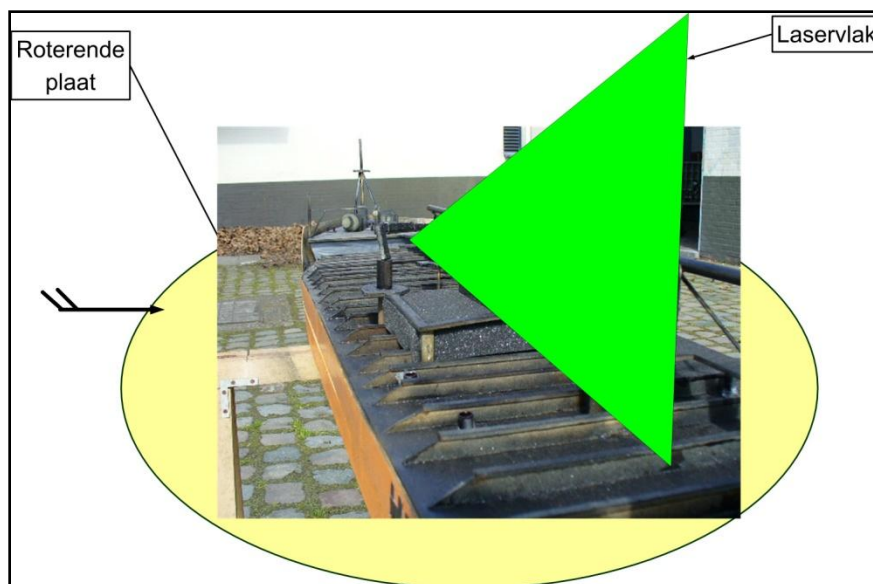
### 8.7.2.2 Regeling van het laservlak

Wanneer het schip rond zijn verticale as gedraaid werd, ontstond de onderstaande situatie (zie figuur 90). Het laservlak verlichtte enkel de rook die buiten de scheepsstructuur aanwezig is. Het was niet waarneembaar of deze rook al dan niet werd afgebogen naar de accommodatie.



Figuur 90 - Verlichting van de rook wanneer het schip een hoek van 90° met de wind maakt.

Er werd een derde prisma aan de zoldering toegevoegd om het laservlak in de lengteas van het groteerd schip te brengen.



Figuur 91 - Laserstraal op het dek.

Er is nog ruimte voor verdere optimalisatie van deze opstelling.

### 8.8 Uitleg over het gebruikte logboek

Om een goed begrijpbare uitleg over het logboek te geven bespreek ik eerst het deel dat gaat van het “nummer” van de testen tot de “filename”. Daarna komt het tweede deel, dat begint bij de “mirror position” en gaat de tot “remarks”. Zie de twee onderstaande tabellen (de originele versie kan in de bijlagen teruggevonden zijn).

Nr.	Date	Time	Rel.Windir.	Rel. Windforce	Outlet velocity (m/s)	Source(s)	Laser beam	filename
1	.. / .. / ..	.. : ..	000°	2	0	9 ps	000°	170926
2	.. / .. / ..	.. : ..	090° sb	1	1	6 sb & 9 sb	000°	181125
3	.. / .. / ..	.. : ..	000°	0 → 1	0.7	9 ps	000°	191456
4	.. / .. / ..	.. : ..	000°	1 → 0	4	engine	000°	201647

Tabel 10 - Logboek deel 1.

De testen werden tijdens een periode van 5 dagen uitgevoerd (15 september 2008 tot 19 september 2008). Het bijhouden van een correct logboek is van groot belang bij de besluitvorming om de omstandigheden te kennen waarin de testen werden uitgevoerd.

Een uitleg van de verschillende kolommen wordt hieronder gegeven:

- Nr. : Bij de aanvang hebben we een nummer aan elke test gegeven. In totaal werden er 178 testen uitgevoerd.
- Date and time: De datum en de tijd van de opname werden genoteerd.
- Rel. Windir.: De relatieve windrichting werd in graden opgegeven. We spreken hier van relatieve richting omdat we rekening houden met de verplaatsingssnelheid van het schip
- Rel. Windforce: De windsnelheid werd aangegeven op het stuurpaneel van de windtunnel. Een windsnelheid van 0→1 wil zeggen dat de windtunnel opstartte. Een indicatie van 1→0 betekent dat de contrarotating propellers gestopt werden toen een wind van 1 m/s gemeten werd.
- Outlet velocity (m/s): De snelheid van uitlaat van de gassen werd in m/s opgegeven. Deze snelheden werden gemeten door de eerder besproken windmeter.
- Sources: deze kolom geeft de gebruikte uitlaten van het schip weer. In de meeste gevallen werkten we met een uitlaat, maar uitzonderlijk hebben we met 4 uitlaten tegelijk gewerkt. Een speciale notitie van de meetwaarden werd voor de uitlaten van de machine(engine) gemaakt.
- Laserbeam: De kolom “laserbeam” geeft de positie van het laservlak.
- Filename: De foto’s werden in de computer opgeslagen. Zoals eerder vermeld waren er 369 foto’s per opname. Een folder moest dus gecreëerd worden om de foto’s van de verschillende testen goed gestructureerd te bewaren. Elke folder bevat 369 foto’s. De naam van de folder werd gegeven door middel van het nummer dat samengesteld is uit de dag van de maand en van het uur van de test (bijvoorbeeld: 170926 wil zeggen dat de test op 17 september om 09u26 werd uitgevoerd).

Mirror position	Camera position	Freq. Pulse gen. (Hz)	Freq. Camera (Hz)	draught	RPM windgen.	By pass at the box	Remarks
Forward	Deck ½ sb	20	10	6.3m	0	0	
Poopdeck	Deck 2/2 ps	20	20	6.3m	0 →47 →9	1	
Back	poopdeck	20	20	6.3m	14	2	

Tabel 11 - Logboek deel 2.

Een uitleg van de verschillende kolommen wordt hieronder gegeven:

- Mirror position: geeft een aanduiding van waar de spiegel boven het model geplaatst werd.
- Camera position: is verdeeld in drie delen. Met 1/2 en 2/2 willen we zeggen dat de camera een foto neemt ofwel aan het eerste deel van het dek ofwel aan het tweede deel van het dek. Een derde positie is het achterdek.
- Frequency pulse generator: is de frequentie van het signaal van de pulsgenerator van de oscillerende spiegel. Gewoonlijk gebruiken we 10 of 20 Hz als frequentie.
- Frequency camera generator: hier werd de frequentie van de pulsgenerator van de camera genoteerd. Hier werd 10 Hz gebruikt
- Draught: staat steeds 6.3m genoteerd omdat er steeds met de twee rompen gewerkt werd.
- RPM windgenerator: de RPM van de contra-rotating propeller werden hier ingeschreven zoals afgelezen op het besturingspaneel.
- By-pass at the box column: geeft het aantal vrije uitlaten aan de box. Door deze vrije uitlaten hadden we de mogelijkheid om het debiet van de rook te regelen. Hoe meer by-passen geopend, hoe minder rook uit de uitlaten van het model kwam.
- Remarks: wordt bijvoorbeeld opgeschreven of er bekens op de vloer waren of nog of het om een simulatie van de PV “valve” (afsluiter) ging.

## Conclusie

Door het uitwerken van de masterscriptie en het onderzoek heb ik de kans gekregen om twee totaal nieuwe werkgebieden te leren kennen, namelijk de bouw van een schaalmodel en het uitvoeren van testen met een windtunnel.

De verwezenlijking van een schaalmodel van een chemicaliëntanker is een omvangrijk werk dat veel tijd, energie, geduld en nauwkeurigheid vereist. Maar de bouw was vooral een leerzaam proces dat startte met het verzamelen van de gegevens en plannen, het vergaren van kennis over de te gebruiken materialen en het zich eigen maken van de technieken van het modelbouwen. Door de bouw van het model hebben we zeker onze bekwaamheden in nauwkeurigheid en geduld verhoogd. Tijdens de bouw van het schaalmodel hebben er zich veel problemen voorgedaan, die we steeds op een creatieve manier opgelost hebben. We hebben dus ook onze creativiteit flink geoefend.

Om tot een professioneel schaalmodel te komen, moet er veel tijd besteed worden aan de details. De tijd die in het derde bachelorjaar daarvoor beschikbaar was, bleek al vlug onvoldoende te zijn. We waren dan ook genoodzaakt om enkele extra weken gedurende de schoolvakanties door te werken om tot een aanvaardbaar model te komen. We ontvingen vele felicitaties over ons werk en waren zelf ook tevreden en trots op onze realisatie. Alhoewel we zelf graag nog meer details hadden willen bouwen om tot een nog betere weergave van de “Crystal Emerald” te komen.

Het tweede grote deel van deze masterscriptie en project was het uitvoeren van de testen in één van de windtunnels van het von Karman Instituut. De samenwerking met het von Karman Instituut was een verrijkende ervaring en een ongelooflijke kans. Door het feit dat we onervaren waren in het gebruik van windtunnels en dat we bovendien geen cursussen over windtunnels hadden gekregen, hebben wij veel op het terrein geleerd. Dit vergde veel tijd, maar het was een opportuniteit om elk onderdeel dat we gebruikten goed te begrijpen. Hopelijk hebben onze eerste testen de weg geopend voor een reeks latere onderzoeken en testen die verband houden met de verspreiding van toxische dampen aan boord van schepen.

Om die latere testen met succes uit te voeren moet er nog meer aandacht aan de voorbereiding besteed worden. Daarmee wil ik zeggen dat er een diepgaandere literatuurstudie dient te gebeuren. Het is dus te hopen dat deze masterscriptie en die van Cédric Brichart en bijkomend de adviezen van Mevrouw Reynaerts en Kapitein Jacobs de volgende onderzoekers



van de Zeevaartschool ertoe zullen aanzetten om hieraan de nodige tijd te besteden. Het bouwen van het schaalmodel en de verwezenlijking van de testen nam veel tijd in beslag gedurende onze studiejaren. Het spreekt vanzelf dat binnen de beschikbare tijd enkel een aanzet kon gegeven worden tot de studie van de verspreiding van gassen rond een chemicaliëntanker. Er is dus nog veel ruimte voor boeiend verder onderzoek. Dit betekent een kleine teleurstelling voor mij, alhoewel ik echt fier en trots ben op de realisatie van ons project. Voor het eerst in mijn studentenleven heb ik op een langlopend project kunnen werken. Het feit dat we van niets begonnen en dat we tot concrete beelden van de verspreiding van de gassen gekomen zijn, is een fantastische beloning voor de tijd, de middelen en energie die we in dit project gestoken hebben.

# Bibliografie

## Geschreven bronnen

- Barlow B.J., Rae R.H., Pope A.(1999), *Low-speed wind tunnels (third edition)*, New-York, Wiley-Interscience.
- Carbonaro M. (2006), *Test facilities en technical support (VKI 50<sup>th</sup> Anniversary Edition)*, The von Karman Institute for fluid dynamics.
- De Baere, K. (2008), *Chemical Tanker Safety*, Hogere Zeevaartschool Antwerpen, niet gepubliceerde cursus.

## Onlinebronnen

### Schaal model

- Modelisme naval trucs (2007), <http://bateaux-alain.chez-alice.fr/ageneral.html>, 16 november 2007.
- Navimodélisme RC (2007), <http://navi.modelisme.com/rubrique1.html>, le 17 novembre 2007.
- Yachts modélisme (2007), <http://yachtmodlisme.blog4ever.com/blog/index-13933.html>, 16 november 2007.

### Windtunnels

- Aerolab (2009), *Subsonic wind tunnels*, <http://www.aerolab.com/>, 10 maart 2009.
- Bradshaw P. en Mehta R. (2003), *Wind tunnel design*, <http://www-htgl.stanford.edu/bradshaw/tunnel/index.html>, 10 maart 2009.
- Lidarcomm (2009), *TopoSys Virtually Eliminates Calibration Flights For Aerial LIDAR Surveys*, <http://lidarcomm.com/id25.html>, 25 april 2009.
- PCO. Imaging (2008), *Sensitives Cameras*, <http://www.pco.de/sensitive-cameras/pixelfly-vga/>, 20 april 2009.
- Smoke machines (2009), *'Colt' series – portable smoke generators*, <http://www.smokemachines.net/buy-colt4.shtml>, 30 april 2009.
- The von Karman Institute for fluid dynamics (2007), <http://www.vki.ac.be/>, 15 november 2007.

## **Lijst van bijlagen**

<b>BIJLAGE N°1: HET LOGBOEK VAN DE TESTEN - DEEL VAN HET LOGBOEK VAN DE 18 SEPTEMBER 2008 .....</b>	<b>125</b>
<b>BIJLAGE N°2: CD MET FOTO'S.....</b>	<b>127</b>

**Bijlage n°1: het logboek van de testen - Deel van het logboek van de 18 september 2008**

nr	date	time	rel wind dir	rel wind force (m/s)	outlet velocity (m/s)	source(s)	laser beam	file name	mirror position	camera position	freq pulse gen (hz)	freq camera (hz)	draught (m)	rpm windgen	by-pass at the box	REMARKS
104	18-Sep	09h23	0	0	0	0	0	180923	back	poop deck	10	10	6.3	0	0	test with light (fore)
105	18-Sep	09h28	0	0	0	9ps	0	180928	back	poop deck	10	10	6.3	0	0	end of test with light, too much light even with only the fore light.
106	18-Sep	09h57	0	0		9ps	0	/	back	poop deck	50	/ Special	6.3	0	0	SPECIAL TEST, NORMAL CAMERA + open door
107	18-Sep	10h00	0	1		9 ps	0	181000			50	10	6.3	0	0	
108	18-Sep	10h00	0	1		9ps	0	/	back	poop deck	50	/Special	6.3	0	0	SPECIAL TEST, NORMAL CAMERA + open door
109	18-Sep	10h04	0	1		9ps	0	181004	back	poop deck	50	10	6.3	0	0	SPECIAL TEST, NORMAL CAMERA + closed door
110	18-Sep	10h04	0	1		9 ps	0	/	back	poop deck	50	/	6.3	0	0	SPECIAL TEST, NORMAL CAMERA + closed door
111	18-Sep	10h10	0	1		9ps	0	181010	back	poop deck	50	10	6.3	0	0	
112	18-Sep	10h10	0	1		9ps	0	/	back	poop deck	50	/	6.3	0	0	

1 1 3	18- Sep	13 h1 5	0	0	0	9 ps	0	181 315	bac k	poop deck	10	10	6.3	0	0	test with cups
1 1 4	18- Sep	13 h1 5		0	0	9ps	0	/	bac k	poop deck	10	/	6.3			special camera + cups
1 1 5	18- Sep	13 h2 7	0	0	0.7	9ps	0	181 327	bac k	poop deck	10	10	6.3		1	test with cups
1 1 6	18- Sep	13 h3 5	0	1	0.7	9 ps	0	181 335	bac k	poop deck	10	10	6.3		1	test with cups
1 1 7	18- Sep	13 h4 0	0	1.5		9ps	0	181 340	bac k	poop deck	10	10	6.3		1	test with cups
1 1 8	18- Sep	13 h4 3	0	2	0.7	9 ps	0	181 343	bac k	poop deck	10	10	6.3		1	test with cups
1 1 9	18- Sep	13 h4 6	0	3	0.7	9 ps	0	181 346	bac k	poop deck	10	10	6.3		1	test with cups
1 2 0	18- Sep	13 h5 5	0	0	4	9 ps	0	181 355	bac k	poop deck	10	10	6.3		0	test with cups
1 2 1	18- Sep	14 h0 1	0	1	4	9 ps	0	181 401	bac k	poop deck	10	10	6.3		0	test with cups
1 2 2	18- Sep	14 h0 4	0	1.5	4	9 ps	0	181 404	bac k	poop deck	10	10	6.3		0	test with cups
1 2 3	18- Sep	14 h0 7	0	2	4	9 ps	0	181 407	bac k	poop deck	10	10	6.3		0	test with cups
1 2 4	18- Sep	14 h1 0	0	3	4	9 ps	0	181 410	bac k	poop deck	10	10	6.3		0	test with cups

**Bijlage n°2: CD met foto's**

