

2015•2016  
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
*master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Masterproef

Ontwerp van elektropneumatisch gestuurde lanceerder, voor het afvuren van genormaliseerde projectielen met zeer nauwkeurige snelheid

Promotor :  
dr. Stan WOUTERS

Promotor :  
Dhr. ALAIN DOUCET

Burak Erdem , Robin Wanten

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2015•2016

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

*master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Masterproef

Ontwerp van elektropneumatisch gestuurde lanceerder, voor het afvuren van genormaliseerde projectielen met zeer nauwkeurige snelheid

Promotor :  
dr. Stan WOUTERS

Promotor :  
Dhr. ALAIN DOUCET

Burak Erdem , Robin Wanten

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica*

## Voorwoord

Na enkele drukke maanden van onderzoek, sluiten wij onze studie van master industriële wetenschappen elektromechanica aan de UHasselt en KULeuven af met een masterproef. Deze is mede mogelijk gemaakt door een aantal mensen. In dit voorwoord willen wij graag deze mensen bedanken, die geholpen hebben om dit mee te realiseren.

Als eerste willen we Professor Dr. Ir Marc Pirlot en Alain Doucet bedanken voor ons de kans te geven om onze masterproef uit te voeren aan de KMS.

Onze interne promotor, Stan Wouters, willen wij ook bedanken voor de hulp en opvolging bij het uitvoeren van onze masterproef.

Als laatste willen we onze familie bedanken voor de steun.

Dank jullie wel!

Burak Erdem  
Robin Wanten  
Juni 2016



# Inhoudsopgave

Voorwoord .....	1
Lijst van tabellen.....	5
Lijst van figuren .....	7
Lijst van grafieken.....	9
Abstract .....	11
Abstract in English .....	13
1 Inleiding .....	15
1.1 Situering .....	15
1.2 Probleemstelling.....	15
1.3 Doelstelling.....	17
1.4 Materiaal en methode.....	17
2 Definitiefase .....	19
2.1 Inleiding tot ballistiek .....	19
2.2 Vuurwapens.....	19
2.2.1 Inleiding .....	19
2.2.2 Soorten vuurwapens .....	20
2.2.3 Kaliber.....	21
2.2.4 Verbrandingskamer .....	22
2.2.5 Loop .....	23
2.2.6 Terugstootenergie .....	25
2.2.7 Voortstuwvlading .....	27
2.3 Uitvoeren van testen .....	28
2.4 Voorproject.....	30
2.4.1 Inleiding .....	30
2.4.2 De schieting .....	33
3 Ontwerpfase.....	35
3.1 Inleiding .....	35
3.2 Onderdelen concept.....	36
3.2.1 Projectiel.....	36
3.2.2 Drukvat .....	38
3.2.3 Tussenstuk.....	42

3.2.4	Kleppen.....	43
3.2.5	Kegel .....	45
3.2.6	Loop.....	56
3.2.7	Bediening.....	60
4	Uitvoerfase .....	63
4.1	Opvragen offertes .....	63
4.2	Bestellen benodigdheden.....	63
4.3	Montage .....	64
5	Evaluatiefase .....	67
5.1	Voorbereiding.....	67
5.2	Schieting .....	67
5.3	Meetresultaten.....	67
6	Besluit .....	71
7	Literatuurlijst .....	73
8	Bijlagen .....	75

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Testresultaten kruitkanon .....	29
Tabel 2: Het eisenpakket voor het ontwerp van het luchtdrukkanon .....	35
Tabel 3: Belastingsgeval van de bout [20] .....	51
Tabel 4: Sterkteklassen en materiaalkenmerken van bouten [21] .....	52
Tabel 5: Tabel met belastingsgeval [19] .....	53
Tabel 6: Overzicht dynamische wrijvingscoëfficiënt .....	57
Tabel 7: Overzicht keuzemogelijkheden loop .....	57
Tabel 8: Data afvuurklep Clark Cooper EH70 [17] .....	61
Tabel 9: Kostprijsberekening project .....	63
Tabel 10: Resultaten schieting met een druk van 3,125 MPa .....	68
Tabel 11: Schietingresultaten bij verschillende drukken .....	69





## Lijst van figuren

Figuur 1: Voorstelling van de ballistiek [3] .....	19
Figuur 2: 9 mm kogel afgevuurd op ballistische gel [5].....	19
Figuur 3: Russische AK-47, dit wapen is geschikt voor 7.62 x 39 mm munitie [7] .....	20
Figuur 4: M61 Vulcan 20 mm geplaatst in een F-16 straaljager van de Belgische luchtmacht [4] .....	21
Figuur 5: Scherer Gustav, Duits 80 centimeter spoorwegkanon. Het was het zwaarste en grootste artilleriestuk ooit geproduceerd met getrokken loop en het vuurde de zwaarste granaten af die ooit door een artilleriestuk zijn afgevuurd [8].....	21
Figuur 6: Verschil tussen gladde en getrokken loop [6] .....	22
Figuur 7: 25-ponder bij El-Alamein in juli 1942 [9].....	22
Figuur 8: Het laden van een patroon in de verbrandingskamer door de achterzijde van de loop [6].....	23
Figuur 9: Doorsnede van een loop [6] .....	23
Figuur 10: Spanningen die inwerken op de loop [6] .....	25
Figuur 11: De mondingsrem van een M198 houwitser blaast het drijfgas zijwaarts af, waardoor de terugslagenergie verkleind wordt [10].....	26
Figuur 12: Duits 88 mm kanon, hier is duidelijk het hydropneumatische terugslagsysteem te zien dat zich boven en onder de loop bevindt [11] .....	27
Figuur 13: Doorsnede kogel waar het kruit links te zien is [12] .....	28
Figuur 14: Projectielopvanger geplaatst voor het te testen object .....	29
Figuur 15: Opstelling kruitkanon met meetapparatuur .....	30
Figuur 16: Duidelijke perforatie van de treindeur.....	30
Figuur 17: Het heliumkanon .....	31
Figuur 18: Tussenstuk van het heliumkanon.....	32
Figuur 19: Dampingssysteem heliumkanon .....	32
Figuur 20: 3D-ontwerp luchtdrukkanon .....	36
Figuur 21: het projectiel .....	36
Figuur 22: Massa's basis en huls op Inventor, de som van de twee is ongeveer 1 kg .....	37
Figuur 23: Aanzichten en maten van het projectiel [13].....	37
Figuur 24: Het gehele drukvat .....	38
Figuur 25: De volumes binnenin het kanon .....	38
Figuur 26: Het mondstuk.....	40
Figuur 27: De flens WN ASME 16.5: Class 600 lbs.....	40
Figuur 28: Aanduiding belangrijke maten van WN flens [14] .....	40
Figuur 29: De ondersteuning voor het drukvat .....	41
Figuur 30: De naamplaat .....	41
Figuur 31: Schetstekening concepten drukvat: met T-stuk (bovenaan) en opstelling in één lijn (onderaan).....	42
Figuur 32: Het tussenstuk.....	43
Figuur 33: Druksensor WIKO A-10 (0-10 MPa) [15] .....	43
Figuur 34: Klep Clark Cooper EH30 (in- en uitlaat 1/4"; schakeltijd = 0,5 s) [16].....	44
Figuur 35: Afvuurklep Clark Cooper EH70 (doorlaat: 2"; schakeltijd = 0,5 s) [17] .....	44
Figuur 36: Klep voor (links) en na de aanpassing (rechts).....	45
Figuur 37: Vergelijking genormeerde drukklassen voor flenzen [18] .....	45
Figuur 38: Kegels met uitstroomhoek van 20°.....	46

Figuur 39: Kegel met de onderdelen .....	46
Figuur 40: Schetstekening van de kegel met zwenkschijf (boven) en zwenkbout (onder) .....	47
Figuur 41: Tekening systeem met zwenkbouten .....	48
Figuur 42: Doorsnede boutverbinding op afschuiving belast .....	50
Figuur 43: NDM-lijnen bout.....	51
Figuur 44: Concepttekeningen plaatsing van de afdichting tussen kegel en loop.....	54
Figuur 45: Positie O-ring.....	55
Figuur 46: Rubberen O-ring.....	55
Figuur 47: De kegel met zijn ondersteuning .....	56
Figuur 48: De loop met alle onderdelen.....	56
Figuur 49: Doorsnede met afmetingen voor buizen met norm DIN EN 10220.....	57
Figuur 50: Situatieschets 'Criterium van Lamé' [22] .....	58
Figuur 51: De elektrische kast .....	60
Figuur 52: De elektrische kast, de binnenkant .....	61
Figuur 53: De elektrische kast, binnenkant van de deur .....	62
Figuur 54: Het drukvat van de tussenoplossing .....	64
Figuur 55: Het verbindingsstuk van de tussenoplossing .....	64
Figuur 56: Het drukvat met de flenzen erop gemonteerd, het pakkingpapier is hier zichtbaar (lichtbruin) .....	65
Figuur 57: Het luchtdrukkanon.....	66

## Lijst van grafieken

Grafiek 1: Projectielsnelheid i.f.v. de massa kruit bij een kruitkanon.....	16
Grafiek 2: Projectielsnelheid i.f.v. de tijd bij een kruitkanon .....	16
Grafiek 3: Projectielsnelheid i.f.v. de oliehoeveelheid bij een kruitkanon .....	16
Grafiek 4: De projectielsnelheid bij tien schietingen .....	68
Grafiek 5: pv-diagram op basis van schietingen.....	69



## **Abstract**

In het Departement Wapensystemen en Ballistiek (ABAL) van de Koninklijke Militaire School (KMS) te Brussel, worden testen uitgevoerd in opdracht van derden. Met een kanon schieten ze projectielen af op een testobject, om te achterhalen of dit sterk genoeg is. Het projectiel voldoet aan de norm 'UIC 651 OR'. De energie waarmee het genormaliseerd projectiel wordt afgeschoten, wordt bepaald door de klant. Aan de hand hiervan wordt de projectielsnelheid berekend.

Het afschieten van de projectielen gebeurt met een kruitkanon. Hierbij verschilt in extreme gevallen de projectielsnelheid 8-10 % t.o.v. de gewenste snelheid. De grootste oorzaak hiervan is de onregelmatige verbranding. De uitdaging van deze masterproef was het minimaliseren van de tolerantie op de projectielsnelheid, tot op 2 % nauwkeurig. De projectielsnelheid mocht in geen geval kleiner zijn dan de gewenste snelheid.

Omdat perslucht gemakkelijker in te stellen is en bovendien ook nog goedkoop is, werd er een luchtdrukkanon ontworpen dat op afstand bedienbaar is. De nodige berekeningen werden gedaan en het kanon werd getekend met het tekenpakket Autodesk Inventor.

Uit testschietingen met het nieuw ontwerp is gebleken, dat de afwijking op de projectielsnelheid in 99 % van de gevallen binnen een tolerantie zit van 2,9 %. Bovendien is het nieuw kanon gebruiksvriendelijker dan het vorige.



## Abstract in English

In the Department of Weapon Systems and Ballistics (ABAL) of the Royal Military Academy situated in Brussels, tests are performed for third parties. Projectiles are fired on test objects to find out if these contain the necessary strength. The used projectile fits the norm 'UIC 651 OR'. The energy which the projectile is shot at, is a parameter chosen by the client. The velocity of the projectile can then be calculated.

The projectiles are fired with the help of a gunpowder cannon. In case of extreme inaccuracy, the velocity of the projectile varies 8-10 % from the orientation value. The irregularity of the combustion of the gunpowder is the biggest reason of this problem. The challenge of this master's thesis was to minimize the tolerance on the velocity to 2 %. The velocity of the projectile might not be less than the orientation value.

A remotely controlled air cannon was designed, because of the fact that controlling the pressure of compressed air is easier than controlling the combustion of gunpowder and the price factor is interesting. The essential estimations are done and the concept is designed with Autodesk Inventor.

Test results with the designed air cannon show, that the deviation on the velocity of the projectile is within a tolerance of 2,9 % in 99 % of the cases. Moreover, the new cannon is more user-friendly than the previous one.





# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

De masterproef vindt plaats in het Departement Wapensystemen en Ballistiek (ABAL) van de Koninklijke Militaire School (KMS) te Brussel in de Campus Renaissance. De Koninklijke Militaire School is opgericht in 1834 door koning Leopold I. Het is een militaire instelling van universitair onderwijs, belast met de academische, militaire en fysieke basisvorming van toekomstige officieren en met de voortgezette vorming van officieren tijdens hun loopbaan in het departement Defensie. De kandidaat-officieren worden drietalig (Nederlands, Frans, Engels) opgeleid tot leiders, die bekwaam zijn efficiënt op te treden in diverse, complexe en uitzonderlijke omstandigheden ten dienste van de nationale of internationale gemeenschap [1].

Het departement ABAL op zijn beurt is de enige instelling in België die, op het gebied van wapensystemen en ballistiek, zowel aan academische vorming als aan wetenschappelijk onderzoek doet. Bovendien levert ABAL ook diensten aan derden. Er is een laboratorium, rijk aan hoogtechnologische meetapparaten, beschikbaar om testen uit te voeren en ook is er een schietunnel van meer dan 100 m lang [2].

Eén van de testen is het beproeven van de carrosserie en/of beglazing van hogesnelheidstreinen. Dit wordt gedaan door een projectiel, dat voldoet aan de norm 'UIC 651 OR', af te schieten met een kanon. De energie waarmee het genormaliseerd projectiel wordt afgeschoten, wordt vooraf bepaald door de klant en moet zo nauwkeurig mogelijk zijn. Aan de hand van de meegegeven energie wordt de projectielsnelheid berekend. Hier wordt dan nog 2 m/s aan toegevoegd, om er zeker van te zijn dat de gewenste energie gehaald wordt. Het doel voor de klant is dat het projectiel het proefobject in geen enkele omstandigheden doorboort. Is dit wel het geval, dan weet de klant dat het testobject niet sterk genoeg is.

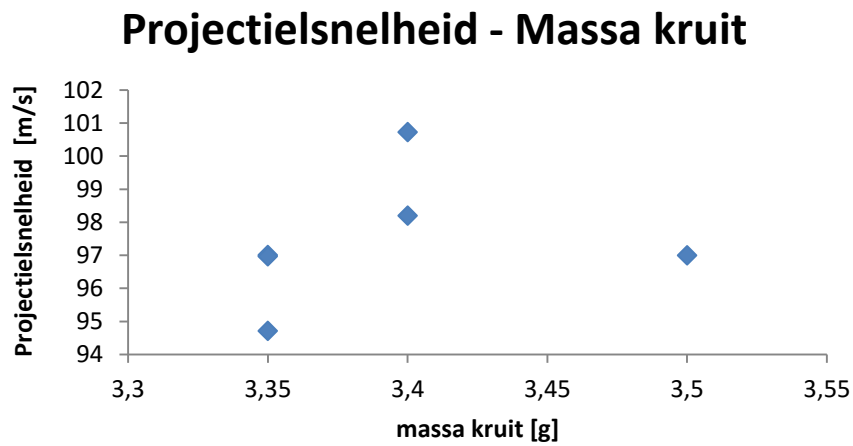
## 1.2 Probleemstelling

Op dit moment worden de projectielen afgeschoten m.b.v. kruit. Dit geeft echter niet altijd de gewenste snelheid. De spreiding op de projectielsnelheid is hierbij veel te groot. In extreme gevallen verschilt de projectielsnelheid 8 tot 10 % t.o.v. de richtsnelheid. De oorzaken hiervan zijn: de onregelmatige verbranding, de afdichting van het projectiel met de loop en de menselijke fouten bij het laden en manipuleren van het kanon. De afdichting van het projectiel met de loop is ook afhankelijk van de tijd tussen de schietingen. De onderdelen gaan immers uitzetten t.g.v. de ontbranding van het kruit. De meest voorkomende menselijke fouten zijn vooral de onnauwkeurige vulling van het massa kruit in de huls en het hoeveelheid aangebrachte olie. Sommige testen moeten dan ook herhaald worden. Het is vanzelfsprekend dat de klant hier niet tevreden mee is.

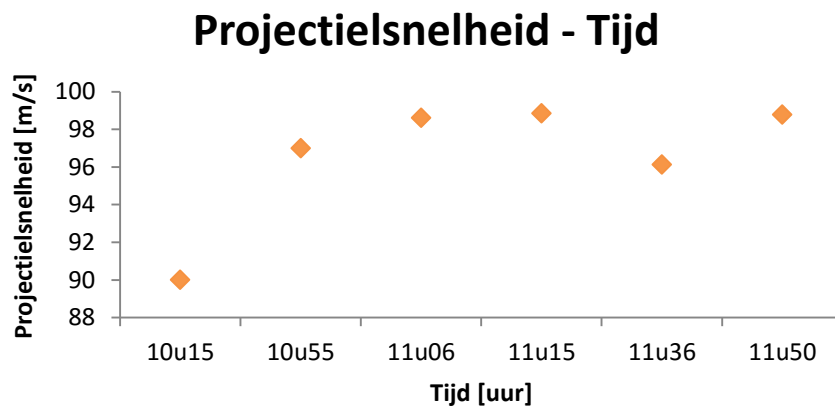
De onderzoeksvraag van deze masterproef luidt als volgt:

**Op welke manier is het mogelijk de spreiding op de projectielsnelheid binnen aanvaardbare waarden te houden?**

Grafiek 1: Projectielsnelheid i.f.v. de massa kruit bij een kruitkanon



Grafiek 2: Projectielsnelheid i.f.v. de tijd bij een kruitkanon



Grafiek 3: Projectielsnelheid i.f.v. de oliehoeveelheid bij een kruitkanon



### **1.3 Doelstelling**

De uitdaging van deze masterproef is het minimaliseren van de spreiding op de projectielsnelheid, tot op 2 % nauwkeurig om exact te zijn. De tolerantie van is wel enkel een positieve tolerantie. De projectielsnelheid mag dus in geen enkel geval kleiner zijn dan de opgegeven projectielsnelheid door de klant. Een mogelijke manier om deze doelstelling te bereiken is de projectielen afvuren m.b.v. hogedruk perslucht. De reden hiervoor is omdat de druk heel nauwkeurig kan ingesteld worden. Eventueel kan er ook gebruik gemaakt worden van andere gassen. De voorkeur gaat uit naar lucht, aangezien het gunstiger is op gebied van kostprijs. Een bijkomende uitdaging is het gebruiksvriendelijk maken van de kanoninstallatie.

### **1.4 Materiaal en methode**

De realisatie van de opdracht zal stapsgewijs verlopen. Er zullen bepaalde fases doorlopen worden om tot een ontwerp te komen en nadien zal het uitgetest worden.

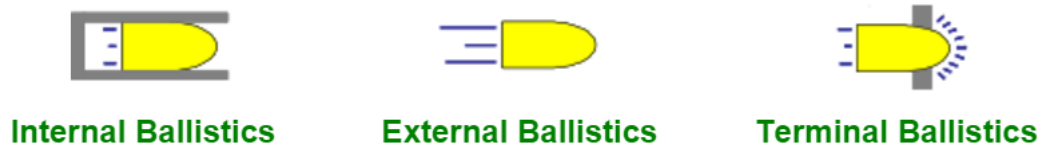
Eerst en vooral zal er een voorbereidingsfase volgen. Hierbij zal de werking van een kanon duidelijker worden d.m.v. een literatuurstudie en een voorproject. Het doel van het voorproject is het voorbereiden van een heliumkanon voor schietingen. Nadien kunnen de resultaten hiervan worden vergeleken met resultaten van schietingen met kruit. Hierna zal er overgegaan worden naar de ontwerpfase van het kanon. De ontwerpfase bevat schetsen, tekeningen en berekeningen m.b.t. het ontwerpen van het luchtdrukkanon. Als het ontwerp goedgekeurd wordt, zullen de nodige onderdelen besteld worden. Vervolgens zal in de uitvoerfase het ontwerp samengesteld worden. In de laatste fase van de masterproef, namelijk de evaluatiefase, zullen er schietingen uitgevoerd worden met het ontworpen luchtdrukkanon en kan er het besluit gevormd worden of een luchtdrukkanon de juiste manier is om de spreiding op de projectielsnelheid voldoende te beperken.



## 2 Definitiefase

### 2.1 Inleiding tot ballistiek

Ballistiek is de leer/wetenschap die de beweging en het gedrag van projectielen bestudeert. Het begrip projectiel is een verzamelnaam, gebruikt voor voorwerpen, die met een grote kracht en snelheid worden afgeschoten zoals kogels, granaten en raketten. De voorwerpen waarmee de projectielen worden afgeschoten, worden vuurwapens genoemd. Ballistiek wordt onderverdeeld in drie grote onderzoeksgebieden: inwendige ballistiek, uitwendige ballistiek en eindballistiek. Verder is er nog één kleiner onderzoeksgebied, namelijk intermediaire- of overgangsballistiek.



Figuur 1: Voorstelling van de ballistiek [3]

Inwendige ballistiek, ook wel beginballistiek genoemd, bestudeert de processen die gebeuren binnenin het vuurwapen. Dit is van het tijdstip waarop de ontbranding van een voortstuwslading gebeurt tot het tijdstip waarop het projectiel de loop van het vuurwapen verlaat. Tijdens dit proces zal het verbranden van de voortstuwslading tot gevolg hebben, dat er verbrandingsgassen ontstaan met een grote druk. Deze verbrandingsgassen zullen een kracht uitoefenen op het projectieloppervlak, wat op zijn beurt ervoor zal zorgen dat het projectiel de loop verlaat.

Vanaf het tijdstip dat het projectiel de loop verlaat, is er sprake van uitwendige ballistiek. Hierbij zijn de luchtweerstand en de zwaartekracht de belangrijkste krachten die inwerken op het projectiel. Deze hebben een grote invloed op de baan die het projectiel zal afleggen. De uitwendige ballistiek geldt tot het tijdstip dat het projectiel het doelwit raakt.

Het onderzoeksgebied van de ballistiek dat na het raken van het doelwit gebeurt, wordt de eindballistiek of de terminale ballistiek genoemd. Het projectiel zal een bepaalde schade aanrichten bij het doelwit. Wanneer het projectiel explosie-energie bezit, zal het onder de vorm van een explosie zijn. In het geval dat het projectiel een kogel is, zal de kogel het lichaam van het doelwit meestal binnentreden en zal er een tuimeling van de kogel veroorzaakt worden. Dit zal het vergoten van de schade bij het doelwit tot gevolg hebben [4].



Figuur 2: 9 mm kogel afgevuurd op ballistische gel [5]

## 2.2 Vuurwapens

### 2.2.1 Inleiding

Vuurwapens worden veelvuldig gebruikt. Niet enkel politie en leger bezitten vuurwapens, maar er zijn meerderen in het bezit hiervan. Volgens schattingen zijn er binnen de VS en de Europese Unie

meer dan 300 miljoen vuurwapens in gebruik door gewone burgers. Elke natie heeft zijn eigen wetten rond het bezit en gebruik van wapens en elk individu moet hieraan gehoorzamen.

Vanuit technisch standpunt is het belangrijkste doel van een vuurwapen: het veilig afschieten van een projectiel met de juiste snelheid en richting. Afhankelijk van de toepassing zal de snelheid variëren van enkele honderden m/s (meter per seconde) tot bijna 2000 m/s. Dergelijke hoge snelheden van het projectiel zijn nodig opdat het zijn doelwit kan bereiken en raken met voldoende kinetische energie. De kinetische energie van de kogel is gelijk aan de helft van de massa, vermenigvuldigd met het kwadraat van de snelheid.

Het vuurwapen heeft een verbrandingskamer gevuld met voortstuwvlading. Deze wordt ontstoken en verbrand en bijgevolg zullen er gassen ontstaan. De verbrandingsgassen zullen een druk uitoefenen op het projectieloppervlak, waardoor deze afgeschoten zal worden. Vervolgens zal deze versnellen doorheen de loop van het vuurwapen. De diameter van de loop is beter bekend als het kaliber van het wapen. Als het vuurwapen vanachter wordt geladen, zal de verbrandingskamer afgesloten worden met een schroef of sluitstuk [6].

## 2.2.2 Soorten vuurwapens

### A) Klein kaliber vuurwapens

Een vuurwapen wordt een klein kaliber vuurwapen genoemd, wanneer zijn kaliber kleiner is dan 20 mm (millimeter). In de praktijk wordt een 0.50 inch of 12.7 mm kaliber als de bovengrens van een klein kaliber vuurwapen beschouwd. Voorbeelden van klein kaliber wapens zijn: pistolen, revolvers, karabijnen, geweren en jachtgeweren, beter bekend onder de naam 'shotguns'. Vaak terugkomende kalibers zijn: 5.45 mm, 5.56 mm, 5.7 mm, 7.62 mm, 9 mm, 12.7 mm en 14.5 mm.

Handvuurwapens zoals pistolen en revolvers, worden vooral gebruikt, wanneer het doel op niet meer dan enkele tientallen meters is verwijderd. Andere klein kaliber vuurwapens, zoals geweren, kunnen worden gebruikt, wanneer het doel op enkele honderden meters is verwijderd. Dit voornamelijk als ze voorzien zijn van een telescopisch zicht. Klein kaliber vuurwapens schieten meestal hun kinetische projectielen af met een supersonische snelheid. De snelheid is dan groter dan 343 m/s in lucht. In sommige gevallen is de snelheid kleiner dan 343 m/s en is er sprake van subsonische snelheden [6].



Figuur 3: Russische AK-47, dit wapen is geschikt voor 7.62 x 39 mm munitie [7]

### B) Middelgroot kaliber vuurwapens

Een vuurwapen wordt een middelgroot kaliber vuurwapen genoemd, wanneer zijn kaliber ligt tussen 20 en 50 mm. 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm zijn veel voorkomende kalibers. In tegenstelling tot klein kaliber vuurwapens, welke in de hand worden gehouden of op de schouder worden geplaatst, worden medium kaliber vuurwapens meestal op voertuigen geplaatst of gemonteerd. Hiervan wordt vooral gebruikt gemaakt, wanneer het

doel zich bevindt op enkele honderden meters tot bijna twee km afstand. In sommige gevallen kan deze afstand ook groter zijn. Medium kaliber vuurwapens vuren kinetische of explosieve projectielen af. Beiden met een supersonische snelheid ( $>343$  m/s) [6].



Figuur 4: M61 Vulcan 20 mm geplaatst in een F-16 straaljager van de Belgische luchtmacht [4]

### C) Groot kaliber vuurwapens

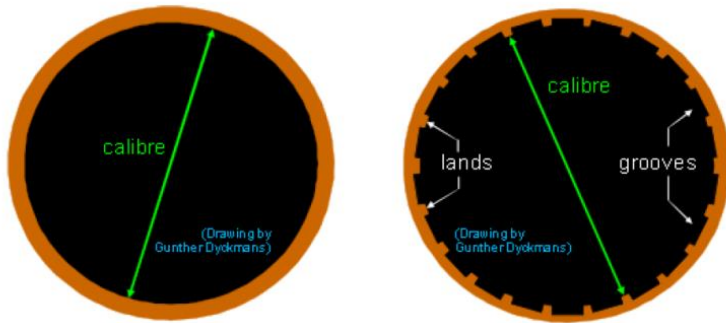
Groot kaliber vuurwapens zijn vuurwapens, waarvan het kaliber groter is dan 50 mm. Ze worden ergens op het land of op zee op een platform bevestigd. Groot kaliber vuurwapens kunnen schietafstanden halen van enkele kilometers tot meer dan 40 kilometer. Voorbeelden van deze groep vuurwapens zijn mortieren en houwitser. Ze kunnen projectielsnelheden behalen tot 1700 m/s [6].



Figuur 5: Schwerer Gustav, Duits 80 centimeter spoorwegkanon. Het was het zwaarste en grootste artilleriestuk ooit geproduceerd met getrokken loop en het vuurde de zwaarste granaten af die ooit door een artilleriestuk zijn afgevuurd [8]

### 2.2.3 Kaliber

Afhankelijk van het looptype, gladde loop of getrokken loop, is het kaliber van een vuurwapen gedefinieerd, als de looppdiameter of de diameterafstand tussen twee velden van de loop. Het kaliber wordt normaal gezien uitgedrukt in mm en in sommige gevallen ook wel in honderdsten van een inch.



Figuur 6: Verschil tussen gladde en getrokken loop [6]

Vuurwapens worden onderverdeeld in klein kaliber vuurwapens, medium kaliber vuurwapens en groot kaliber vuurwapens, afhankelijk van het kaliber dus. Het nummer dat vaak in de naam van een vuurwapen staat, is niet altijd afkomstig van het kaliber. In sommige gevallen is het ook afkomstig van de projectielmassa van het vuurwapen. Een voorbeeld hiervan is 'de Britse 25 pondeur'. Deze was het belangrijkste Britse kanon en houwitser tijdens de Tweede Wereldoorlog. Het vuurde projectielen af met een kaliber van 87.6 mm en een granaatmassa van 25 pond [6].



Figuur 7: 25-ponder bij El-Alamein in juli 1942 [9]

## 2.2.4 Verbrandingskamer

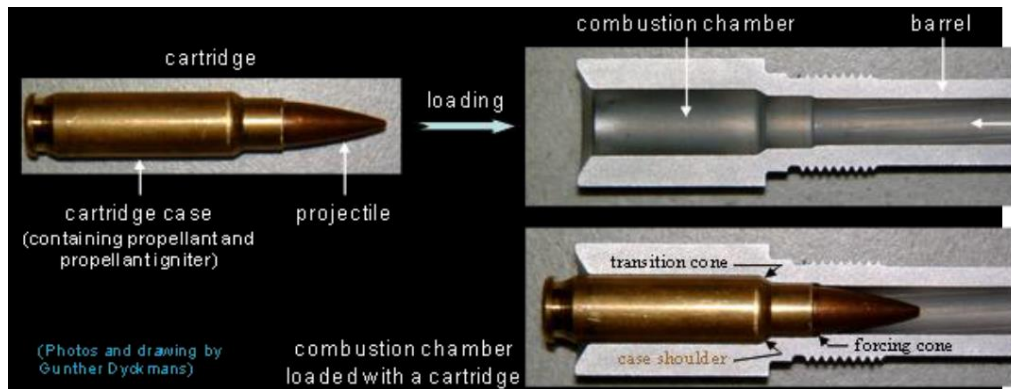
Een projectiel wordt voortgestuwd in de loop van het wapen ten gevolge van de druk, uitgeoefend door de verbrandingsgassen op het projectieloppervlak. De verbrandingsgassen ontstaan door het verbranden van een kruitlading. Deze wordt geladen in een ruimte in het wapen, welk de verbrandingskamer wordt genoemd. Het kruit wordt meestal geplaatst in een huls. Deze moet dezelfde vorm bezitten als de verbrandingskamer. De verbrandingskamer wordt gewoonlijk vervaardigd uit staal.

Wanneer het vuurwapen vanachter wordt geladen, zal de verbrandingskamer een grotere diameter dan de diameter van de loop hebben. De diameterverhouding van deze twee wordt de 'chambrage' genoemd. Tussen de verbrandingskamer en de loop is er een kleine conische overgang. De vorm is identiek aan die van de schouder van de huls. Net voor de loop is er soms ook nog een bijkomende conische overgang. Hiertegen wordt de geleidingsband geplaatst. Hierachter kan een obturator geplaatst worden. Dit is een 'jurk' die er voor zorgt dat het projectiel goed geplaatst is en er geen gaslekken zijn vanuit de verbrandingskamer.

Bij het vuren moet de verbrandingskamer afgesloten worden. Wanneer het vuurwapen vanachter wordt geladen, wordt het afsluiten gedaan door middel van een schroefje of een sluitstuk. Omdat de



verbrandingsgassen niet enkel druk uitoefenen op het projectieoppervlak, maar ook op het sluitstuk, zal het vuurwapen de neiging hebben om terug te slaan bij het afvuren van een schot [6].



Figuur 8: Het laden van een patroon in de verbrandingskamer door de achterzijde van de loop [6]

## 2.2.5 Loop

### A) Inleiding

De loop is het deel van het vuurwapen, waarin het projectiel wordt versneld. Het inwendig deel van de loop wordt de ziel genoemd. De diameter hiervan is, zoals eerder al vermeld, het kaliber. Het projectiel verlaat de loop aan het einde van de ziel, de vuurmond genaamd. Sommige lopen hebben interne groeven, die in staat zijn het projectiel te laten roteren.



Figuur 9: Doorsnede van een loop [6]

De ziel heeft in vergelijking met de verbrandingskamer een grotere lengte. De verhouding van de som van het volume van de ziel en het verbrandingskamervolume, op het verbrandingskamervolume is bekend onder de naam 'expansiemodulus' van het vuurwapen.

De loop wordt meestal vervaardigd uit laag koolstofstaal, meestal met een koolstofgehalte van 0,3 % en moet bestand zijn tegen de hoge drukken binnenin het vuurwapen. De maximaal toegelaten druk is afhankelijk van de dikte, de materiaaleigenschappen en de vervaardigingsmethode. De loop mag niet scheuren of afbrokkelen en moet dus taai genoeg zijn. Een 3<sup>de</sup> belangrijke eigenschap is de weerstand tegen degradatie en moeheid [6].

### B) Lengte van de loop

Eerder werd er al op gewezen dat de loop het deel van het vuurwapen is, waar het projectiel zijn snelheid krijgt. Dit kan bewezen worden vertrekkend vanuit de definitie van de druk:

*De druk ( $p$ ) op het projectieoppervlak geeft de kracht  $F$  per oppervlakte-eenheid  $A$  aan.*

In formulevorm geeft dit:

$$p = \frac{F}{A} ;$$

$F =$  kracht die inwerkt op het projectieloppervlak (N)

$A =$  oppervlakte van het projectiel ( $m^2$ )

Als 'de tweede wet van Newton' ( $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ) hierop wordt toegepast, krijgt men het volgende:

$$p = \frac{m \cdot a}{A} ;$$

$m =$  de massa van het projectiel (kg)

$a =$  de versnelling van het projectiel ( $m^2/s$ )

De versnelling  $a$  kan verkregen worden door de afgeleide te nemen van de snelheid  $v$  naar de tijd  $t$ :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$  ingevuld in  $p = \frac{m \cdot a}{A}$  en geschreven in functie van de snelheid geeft:

$$d\vec{v} = \frac{A}{m} \cdot p \cdot dt$$

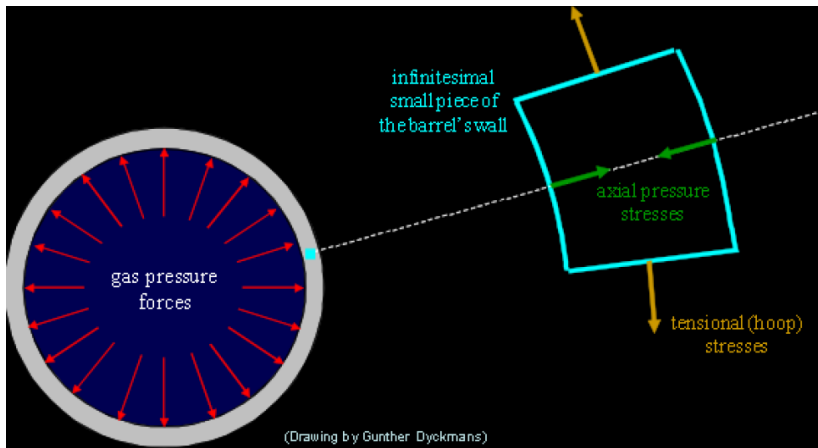
De snelheid tot slot wordt verkregen door de integraal te nemen aan beide kanten hiervan:

$$\vec{v} = \frac{A}{m} \int_{t_0}^{t_1} p dt$$

De formule toont aan dat de snelheid afhankelijk is van de oppervlakte van de loop, de massa van het projectiel, en de druk uitgeoefend tegen het projectieloppervlak. Deze druk is tijdsafhankelijk. Hoe langer het medium een kracht kan uitoefenen tegen het projectieloppervlak, hoe groter de druk zal zijn. Een grotere looppengte zal dus tot gevolg hebben, dat de projectielsnelheid vergroot. Er zal uiteraard een bepaalde lengte zijn, waarbij de projectielsnelheid maar in heel kleine mate stijgt i.f.v. de looppengte.

### C) Maximum toegelaten druk

Wanneer er met een vuurwapen wordt geschoten, zullen er spanningen ontstaan binnenin de loop. Dit is te wijten aan het feit dat de verbrandingsgassen, afkomstig van de voortstuwslading, een druk uitoefenen op de binnenkant van de loop. De mechanische spanningen zorgen er bijgevolg voor, dat de loop een bepaalde vervorming ondergaat.



Figuur 10: Spanningen die inwerken op de loop [6]

De spanningen en vervormingen zijn te berekenen met het 'criterium van Lamé (eindige verplaatsingsprobleem binnenin een holle cilinder onder invloed van inwendige en uitwendige drukken)'. Het is gewenst dat de vervorming van de loop elastisch gebeurt, zodat het terug zijn oorspronkelijke vorm aanneemt bij het weghalen van de belasting (wanneer het projectiel het vuurwapen verlaat). Als de inwendige drukken te hoog zijn, zullen de spanningen binnenin het materiaal van de loop, leiden tot plastische vervorming van de loop. Dit moet natuurlijk altijd vermeden worden.

De 'Safe Maximum Pressure (SMP)', de maximale veilige spanning in het Nederlands, is te berekenen met het 'Criterium van Lamé':

$$SMP = \frac{Y}{2} \left[ 1 - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]; \quad (6)$$

$Y$  = de vloeispanning van het materiaal (yield strength) (MPa)

$r_1$  = de binnenstraal van de loop (m)

$r_2$  = de buitenstraal van de loop (m)

De spanningen binnenin het materiaal van de loop worden niet enkel veroorzaakt door de drukken in de loop, maar ook door de druk uitgeoefend door de verbrandingsgassen op het sluitstuk. Dit is immers vastgehecht aan de loop [6].

## 2.2.6 Terugstootenergie

De verbrandingsgassen oefenen niet alleen een kracht uit op het projectieloppervlak, maar ook nog een druk op het sluitstuk van het vuurwapen. Onder invloed van deze drukkrachten, zal het sluitstuk de neiging hebben, om een achterwaartse beweging te doen. Dit resulteert tot een achterwaartse kracht van het gehele vuurwapen, de terugstootkracht genoemd. Het is noodzakelijk deze kracht te dempen. Dit is mogelijk door een demping te voorzien. De terugslagenergie 'ER' wordt gegeven met de formule:

$$ER = 0,5 \cdot m_r \cdot v_r^2;$$

$ER$  = terugstootenergie (recoil energy) (J)

$m_r$  = terugstootmassa (kg)

$v_r$  = terugstootsnelheid (m/s)

Ten gevolge van het afschieten van het projectiel zal de impuls van het systeem, het vuurwapen in dit geval, wijzigen. De impuls is immers ‘de hoeveelheid van beweging’ van een systeem of lichaam en kan geschreven worden als:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Het projectiel met massa  $m_p$  en snelheid  $v_p$  en de verbrandingsgassen met massa  $m_g$  en gemiddelde snelheid  $\frac{\vec{v}_p}{2}$  bewegen in de richting van de vuurmond en veroorzaken een impuls:

$$\vec{p}_1 = m_p \cdot \vec{v}_p + m_g \cdot \frac{\vec{v}_p}{2}$$

Op zijn beurt zal de terugslagmassa  $m_r$  bewegen in de tegengestelde richting met een snelheid  $\vec{v}_r$  en zal er volgende impuls in de tegengestelde richting van de projectielbeweging ontstaan:

$$\vec{p}_2 = m_r \cdot \vec{v}_r$$

‘De derde wet van Newton’ zegt:

$$F_{actie} = -F_{reactie}$$

Omdat het proces gedurende dezelfde tijd gebeurt, kan er in beide kanten met een tijdsfactor  $t$  vermenigvuldigd worden. Dit geeft:

$$F_{actie} \cdot t = -F_{reactie} \cdot t$$

Volgens ‘De tweede wet van Newton’ is de kracht:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\vec{v}}{t} \quad \rightarrow \quad \vec{F} \cdot t = m \cdot \vec{v} \quad \rightarrow \quad \vec{F} \cdot t = \vec{p}$$

Hieruit volgt dat  $\vec{p}_1$  en  $\vec{p}_2$  aan elkaar gelijkgesteld kunnen worden. Hieruit volgt:

$$m_r \cdot v_r = m_p \cdot v_p + m_g \cdot \frac{v_p}{2}$$

Met behulp van deze formule en  $ER = 0,5 \cdot m_r \cdot v_r^2$  kan de terugslagenergie berekend worden.



**Figuur 11:** De mondingsrem van een M198 houwtiser blaast het drijfgas zijwaarts af, waardoor de terugslagenergie verkleind wordt [10]



Figuur 12: Duits 88 mm kanon, hier is duidelijk het hydropneumatische terugslagsysteem te zien dat zich boven en onder de loop bevindt [11]

## 2.2.7 Voortstuwloading

### A) Inleiding

Voor het afschieten van het projectiel is een bepaalde kracht nodig. Deze wordt veroorzaakt door de druk, opgebouwd door de verbrandingsgassen binnenin het vuurwapen. De verbrandingsgassen ontstaan door de ontbranding van kruit.

Het is ook mogelijk de projectielen af te schieten met behulp van lucht onder hoge druk, beter bekend onder de naam perslucht. Een wapen volgens het principe van een gecompriemd gas wordt een luchtdrukgeweer of een luchtgeweer genoemd.

### B) Kruit

Kruit is een chemische substantie die bestaat uit een brandstof en een oxidator en zal dienen als energiebron om een projectiel te laten bewegen. Deze beweging wordt verkregen door de voortstuwloading die metastabiel is, te activeren door een impuls. Dit kan een schok of warmte zijn, waardoor de chemische substantie naar een stabiele toestand overgaat. Door de chemische reactie zal er warmte en verbrandingsgassen onder hoge druk ontstaan die het projectiel zullen laten voortbewegen.

De voortstuwloadingen bestaan uit laag explosieve stoffen die op een gecontroleerde manier ontstoken worden. Dit wordt deflagratie genoemd. Hoog explosieve stoffen zoals TNT (trinitrotolueen) zullen ongecontroleerd ontstoken worden, ook wel detonatie genoemd.

Bij het afvuren van een projectiel zal er door een ontsteking een vlamfront ontstaan, dat zich door de stuwloading voortplant door middel van warmteoverdracht en moleculaire diffusie. Hierdoor zal de voortstuwloading beginnen ontbranden wanneer de temperatuur hoog genoeg is geworden. De voortplantingssnelheid van dit vlamfront is sterk afhankelijk van omgevingsdruk en kan enkele millimeters per seconde tot meer dan 400 m/s bedragen [6].



Figuur 13: Doorsnede kogel waar het kruit links te zien is [12]

### C) Perslucht

Perslucht is lucht dat wordt samengeperst en hierdoor een hoge druk bezit. De hoge druk wordt bereikt met behulp van een compressor. Het is in staat bij een hoge druk, grote krachten uit te oefenen op een oppervlak.

## 2.3 Uitvoeren van testen

Bij het uitvoeren van schietingen met een kanon, wordt er een bepaalde procedure doorlopen. Allereerst brengen de laboranten het vuurwapen naar de plaats van de schieting. Hier plaatsen ze de nodige apparatuur voor de metingen bij. Een projectielopvanger wordt geplaatst op de plaats waar het testobject zich zal bevinden. Vervolgens bereidt een laborant het nodige kruit en vult hiermee een huls. Vanaf nu mag niemand zich meer in de schietunnel bevinden. De huls met het hoeveelheid kruit wordt in het kanon gestoken.

De eerste schieting is een proefschieting en gebeurt zonder een projectiel. Hierbij wordt het vuurwapen gecontroleerd op eventuele fouten of defecten. Bij volgende stap, ook een proefschieting, is er het verschil dat er nu wel een projectiel wordt afgeschoten. De bedoeling hiervan is het meten van de snelheid. De laborant steekt het projectiel langs de voorkant via de loop in het vuurwapen en duwt deze verder totdat het niet meer verder kan. Eventueel wordt er gebruik gemaakt van olie, om het proces te vergemakkelijken. Deze schieting gebeurt op een projectielopvanger. Als de snelheid, die in de controlekamer kan worden afgelezen, binnen aanvaardbare waarden ligt, kan er verder gegaan worden naar de volgende stap. Zo niet, dan moet er op zoek gegaan worden naar de oorzaak van de afwijking op de snelheid. Deze kan zowel liggen aan het vuurwapen als aan de laborant.



**Figuur 14: Projectielopvanger geplaatst voor het te testen object**

Wanneer de proefschoten gelukt zijn, kan er overgegaan worden naar de eigenlijke schietingen. De projectielopvanger wordt weggenomen en het testobject wordt geplaatst. Van het moment dat alles juist is ingesteld, kan het (meestal) finale schot gedaan worden. In sommige gevallen worden er meerdere objecten getest. Als een verandering van de snelheid vereist is, zal er terug een projectielopvanger geplaatst worden en wordt de snelheid opnieuw gemeten.

Meetresultaten van een schieting met kruit:

Voor een extern bedrijf moesten er testen uitgevoerd worden op treindeuren om te bepalen of deze sterk genoeg zouden zijn bij een impact met een met een bepaalde hoeveelheid energie. Aan de hand van de opgegeven energie berekent men dan de snelheid. De snelheid waarmee deze proeven uitgevoerd moesten worden is 95 m/s. In Tabel twee staan de resultaten van de testen. De beoogde snelheid wordt gehaald, waarbij bij het eerste schot er een perforatie plaatsvindt en bij het tweede schot met twee treindeuren achter elkaar er geen perforatie is.

**Tabel 1: Testresultaten kruitkanon**

Projectiel	Sample	Schot nr.	IA (°)	Vp(m/s)	Perforatie
UIC 651	16-025	1	90	98,29	ja
OR	16-026	2	90	96,98	nee



Figuur 15: Opstelling kruitkanon met meetapparatuur



Figuur 16: Duidelijke perforatie van de treindeur

## 2.4 Voorproject

### 2.4.1 Inleiding

Een voorproject werd aangewezen met als bedoeling de verschillende componenten van een kanon te bestuderen. Bovendien zou dit helpen de werking van een kanon beter te leren begrijpen. Een heliumkanon, dat sporadisch werd gebruikt, moest terug voorbereid worden voor schietingen. Als dit succesvol zou verlopen, zouden de gegevens gemeten tijdens de schietingen, gebruikt worden ter vergelijking met andere schietgegevens (kanon met kruit en luchtdrukkanon).



De opdracht hield specifiek in dat er projectielen met een diameter van 95 mm moesten worden afgeschoten met het heliumkanon, waar oorspronkelijk projectielen met een diameter van 12 mm mee worden afgeschoten. De bedoeling hierachter is het vergelijken van de schietingen met het heliumkanon met die van het kruitkanon. In beide schietingen wordt dezelfde loop en projectielen gebruikt.

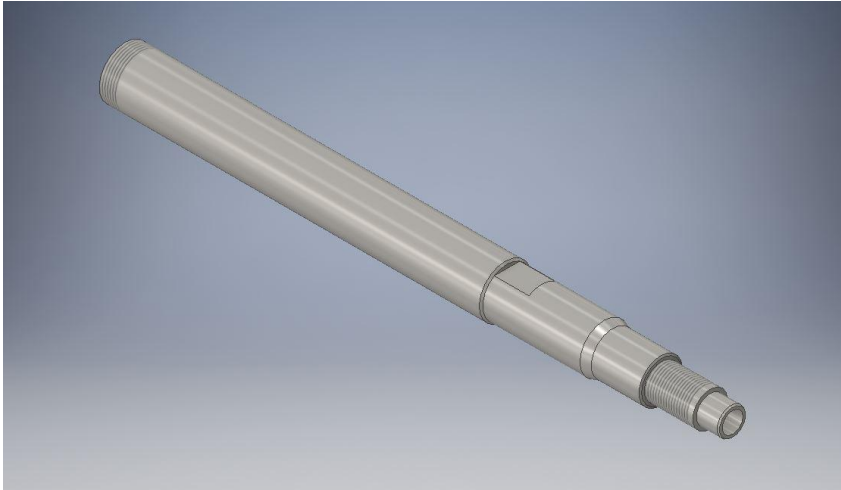
Het heliumkanon zal met behulp van helium onder hoge druk een projectiel afschieten. Het heliumgas is afkomstig van een cilinder. Via een leidingcircuit komt het in een drukvat terecht. Hierop wordt de loop van het vuurwapen gekoppeld. De projectielen steekt men vooraan via de loopmond in het vuurwapen. Ze worden verder geduwd met een laadstok tot de gewenste positie. Uiteindelijk wordt het projectiel afgeschoten door een hoeveelheid helium onder hoge druk, te laten inwerken op het projectieloppervlak.

Om de opdracht, het afschieten van projectielen met diameter 95 mm met een heliumkanon, te kunnen uitvoeren, moest het heliumkanon omgebouwd worden. De belangrijkste aanpassing hiervoor was de loop. Om de montage van de loop te verwezenlijken op het vuurwapen wordt er gebruik gemaakt van een adapter. Vanwege zijn kegelvorm aan de binnenkant, wordt de adapter ook wel de kegel genoemd.



**Figuur 17: Het heliumkanon**

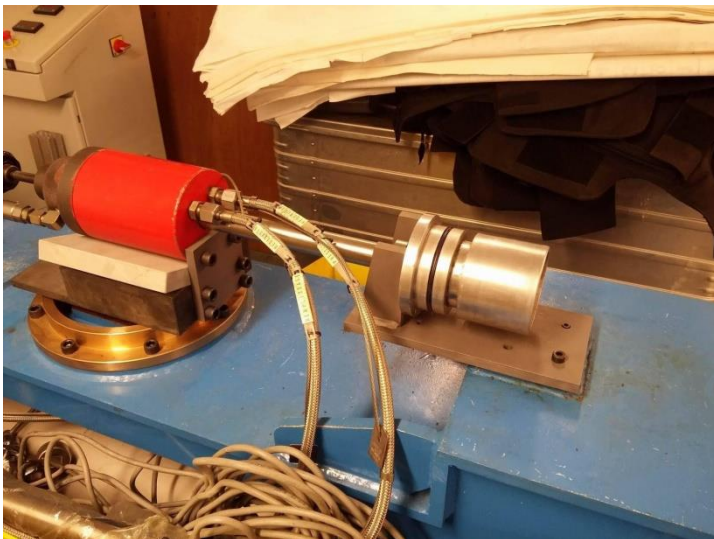
Het eerste probleem was dat de er een verbinding moest zijn tussen het drukvat en de kegel. Dit werd opgelost door het ontwerpen van een tussenstuk. Deze werd getekend met een tekenpakket en werd nadien ook effectief gemaakt door een extern bedrijf.



**Figuur 18: Tussenstuk van het heliumkanon**

Een tweede probleem was dat de adapter onmogelijk in de normale toestand gemonteerd kon worden. De reden hiervan was het gebrek aan ruimte, dit doordat de diameter van de kegel veel groter is als die van de originele loop van het heliumkanon. In de originele toestand van het heliumkanon is er geen tussenstuk en een adapter, maar is de loop rechtstreeks gekoppeld aan het drukvat. De gehanteerde oplossing is het verhogen van de positie van het drukvat. Er werd een zelfgemaakte opvulplaat onder geplaatst. Bijgevolg verhoogde ook de positie van alles vanaf het drukvat tot en met de loop en kon alles op een horizontale symmetrielijngemonteerd worden.

Het ontbreken van een demping was het laatste probleem. De terugstootkracht wordt hiermee opgevangen. De demping is gemaakt door twee stuken ijzeren plaat, rechtopstaand te lassen op een onderplaat.



**Figuur 19: Dempingssysteem heliumkanon**

Wanneer een schot plaatsvindt, beweegt de loop in de richting, tegengesteld met de beweging van het projectiel. De rest van de onderdelen, vast gemonteerd aan de loop, zullen mee bewegen. De beweging van de adapter zal tegengehouden worden, door de rechtopstaande platen en dus wordt de terugstootkracht gedempt. Het grote voordeel van deze demping is dat nu de adapter de terugstootkracht overbrengt aan de rest van het kanon i.p.v. de schroefdraad van het tussenstuk, die daarvoor niet berekend is.

## 2.4.2 De schieting

Vooraleer de schieting kon plaatsvinden werden de verschillende delen gemonteerd en uitgelijnd. De laboranten brengen het kanon hierna naar de schietbaan en vervolgens plaatsen ze de nodige apparatuur. Het heliumkanon wordt in bedrijf gesteld en de heliumeenheid zal opladen tot 40 MPa. De schieting zal volgens dezelfde procedure gebeuren als deze voor kruit. Het eerste schot zal dus zonder projectiel gebeuren om het kanon te testen. Het tweede schot gebeurt met een druk van 10 MPa. Het resultaat van deze schieting is dat het projectiel in de loop blijft steken. Hierna volgt nog een derde schieting met een druk van 30 MPa. Het projectiel valt deze keer uit de loop en zal enkele meters overbruggen. Het heliumkanon werkt dus niet naar wens. Dit komt waarschijnlijk, omdat het tussenstuk een veel kleinere diameter heeft in vergelijking met de loop. Het debiet dat door het tussenstuk stroomt, is dan ook heel klein. Dit debiet bezit een bepaalde druk (veel kleiner dan de druk, waarmee we het projectiel willen afschieten) en zal een kracht uitoefenen op het projectiel, waardoor deze in beweging komt en dus wordt versneld (1<sup>ste</sup> wet van Newton). De druk krijgt m.a.w. niet de kans om zich op te bouwen tot de gewenste druk, waardoor de gewenste snelheid niet wordt behaald.



### 3 Ontwerpfase

#### 3.1 Inleiding

De ontwerpfase is gestart met het op papier zetten van een beschrijving van het beoogde ontwerp. Hierbij is de gewenste werking van het te ontwerpen kanon besproken. Vervolgens is het eisenpakket opgesteld. De belangrijkste eis die er werd gesteld voor het ontwerp is, dat er een projectiel kan worden afgevuurd en dat de snelheid van dit projectiel tot op 2 % nauwkeurig instelbaar is. De projectielsnelheid mag in geen geval, kleiner zijn dan de richtwaarde.

Het bouwen van een kanon, waarbij het projectiel wordt afgeschoten met een gas, is de geselecteerde methode. De reden hiervoor is de instelbaarheid van de druk van een gas, in het geval dat het systeem is voorzien van de vereiste apparatuur. Vanwege de gunstige kostprijs van lucht t.o.v. andere gassen, is de keuze gevallen op het ontwikkelen van een luchtdrukkanon.

Tabel 2: Het eisenpakket voor het ontwerp van het luchtdrukkanon

Eisenpakket	
Vaste eisen	Tolerantie op projectielsnelheid: + 2 %
	Projectielsnelheid: min. 60-120 m/s
	Meten v. projectielsnelheid aan uiteinde loop
	Afschieten projectielen: luchtdruk
	Druk: max. 7,000 MPa
	Voorzien van benodigde veiligheidselementen
	Lengte loop: 3 m
Variabele eisen	Prijs: max. € 15.000
	Loop instelbaar in hoogte: 0,75 m t.o.v. aslijn (omhoog en omlaag)
	Bediening: Op afstand (Controlekamer?)
	Sturing: elektropneumatisch (gebruik maken van beschikbare klep met reactietijd van 0,5 s)
	Demping terugstootkracht
	Mobiel: verplaatsen van standplaats naar schietplaats met 2 personen op max. 5 min
	Mogelijkheid verlenging v. loop
Projectielaanslag binnenin kanon (plaatje, schroefje,...)	
Wensen	Bij ontwerp bestaande uit meerdere delen: Snelle en gemakkelijke samenstelling: max. 5min
	Snelheidsmetingen met lichtgordijnen visualiseren met LabVIEW
	Niet te zwaar, handelbaar
	Laden projectiel: achteraan

Op basis van het beoogde resultaat en het eisenpakket, is het ontwerp opgebouwd uit volgende onderdelen:

- drukvat,
- tussenstuk met persluchttoevoer, persluchtafvoer en manometeraansluiting;
- elektromagnetische hogedrukklep,
- bediening,
- kegel,
- loop,
- projectiel.

## 3.2 Onderdelen concept

Binnen dit deel worden de verschillende onderdelen van het ontworpen luchtdrukkanon besproken.



Figuur 20: 3D-ontwerp luchtdrukkanon

### 3.2.1 Projectiel

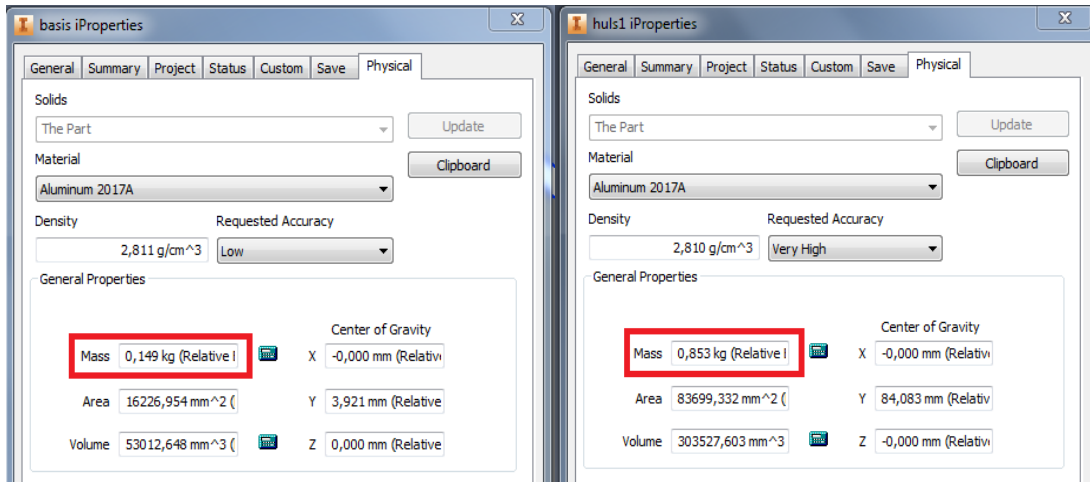
Het projectiel wordt, onder invloed van perslucht, afgeschoten door het kanon en oefent bij het botsen een bepaalde hoeveelheid kinetische energie uit op het testobject. Testschietingen op objecten verlopen volgens een voorgeschreven norm. Het projectiel is één van de verschillende onderdelen, waarvan er verschillende parameters van vastliggen. Om die reden is er geen eigen projectiel ontworpen.

Het projectiel is ontworpen zoals beschreven wordt, volgens de norm UIC 651 OR bij testschietingen. De vorm van het projectiel kan beschreven worden als een cilinder met een halve bol op één van de uiteinden. Het moet een massa bezitten van 1 kg en de afmetingen ervan zijn ook vastgelegd. Vooral de uitwendige diameter van  $94_{-0,1}^{+0,1}$  mm is een belangrijke maat, omdat de loop van het kanon werd vervaardigd op basis van deze maat.

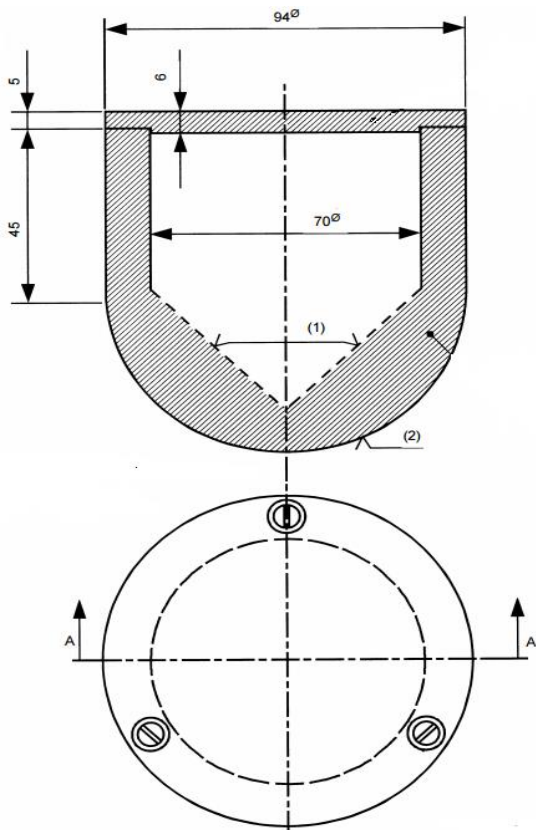


Figuur 21: het projectiel

Het projectiel bestaat uit twee delen. Het projectiellichaam en een basis, waarop dit projectiellichaam wordt ingeperst. Het projectiel is in zijn geheel vervaardigd uit aluminium 2017-A [13].



Figuur 22: Massa's basis en huls op Inventor, de som van de twee is ongeveer 1 kg

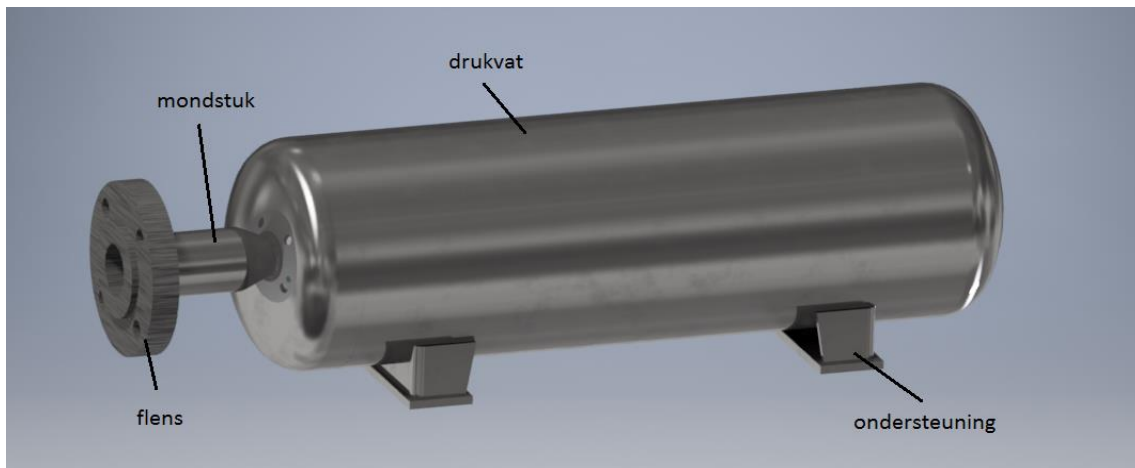


Figuur 23: Aanzichten en maten van het projectiel [13]

### 3.2.2 Drukvat

Binnen dit concept is het drukvat het onderdeel waar het schietproces van start gaat. Het is misschien wel de meest essentiële component binnen het ontwerp, omdat het de rol van voeding vervult. Het bevat het gas waarmee het projectiel wordt gelanceerd, namelijk perslucht en heeft dus rechtstreeks impact op de snelheid hiervan.

Het geheel bestaat uit 5 delen. Het drukvat zelf, een mondstuk, een flens die op het mondstuk gelast is, de ondersteuning en een naamplaat.



Figuur 24: Het gehele drukvat

Het drukvat bezit volgende specificaties:

- Inhoud: 20 liter
- Druk perslucht 7,000 MPa
- Ontwerptemperatuur: tussen 0 en + 50°C (het drukvat wordt gebruikt bij kamertemperatuur)
- Materiaal: Koolstofstaal
- Bestand tegen: Niet-gevaarlijke gassen (gassen van de 2<sup>de</sup> groep)

De perslucht zit voornamelijk opgesloten in het drukvat. Een deel van de perslucht (0,7 l) zit echter ook nog in de ruimte tussen het drukvat en de afvuurklep, omdat er rechtstreeks op het drukvat zelf geen klep aanwezig is. Op het ogenblik dat er op de vuurknop gedrukt wordt (zie 3.2.6 Bediening), zal de afvuurklep openen en zal de perslucht zich voortplanten binnen heel het systeem, tot bij het projectiel. Dit beweegt vervolgens en verlaat de loop, omdat de perslucht een druk uitoefent op het projectieloppervlak.



Figuur 25: De volumes binnenin het kanon



Het belang van het volume van het drukvat en de druk van de perslucht binnenin het drukvat worden aangetoond, vertrekkend vanuit de algemene gaswet bij constante temperatuur (Boyle-Mariotte):

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_{tot} ;$$

$p_1$  = druk van de perslucht in het drukvat

$p_2$  = druk van de perslucht wanneer het projectiel de loop verlaat

$V_1$  = volume van het drukvat tot de afvuurklep

$V_2$  = volume na de afvuurklep tot de loopmond

$V_{tot} = V_1 + V_2 =$  totaal volume van het kanon (na het openen van de afvuurklep)

De druk uitgeoefend door de perslucht op het projectieloppervlak, heeft rechtstreeks invloed op de snelheid van het projectiel. Een hoge druk correspondeert met een grote snelheid. De algemene gaswet bij constante temperatuur in functie van  $p_2$  geeft:

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_{tot}}$$

Uit deze formule kan geconcludeerd worden, dat zowel het volume van het drukvat, als de druk van de perslucht in het drukvat maximaal moeten zijn. Omdat  $V_{tot} = V_1 + V_2$  (totaal volume van het kanon) minimaal, maar het volume van het drukvat maximaal moet zijn, is het van belang  $V_2$  zoveel mogelijk te beperken. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het feit, dat een grotere looplengte de perslucht meer tijd heeft om druk uit te oefenen op het projectieloppervlak en bijgevolg de projectielsnelheid groter wordt.

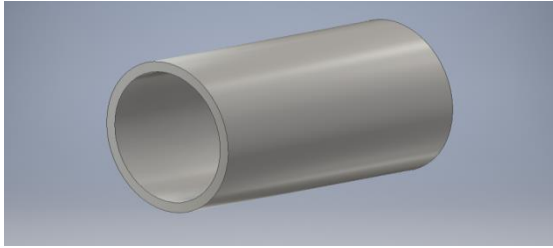
Het volume van het kanon, na de afvuurklep tot de loopmond, is gelijk aan:

$$\begin{aligned} V_2 &= V_{klep} + V_{kegel} + V_{loop} \\ &= \frac{\pi \cdot 50,8^2}{4} \cdot 150 + \frac{\pi \cdot 52,5^2}{4} \cdot 86 + \frac{1}{3} \pi \cdot 57 \cdot (23,75)^2 + \frac{\pi \cdot 95,0^2}{4} \cdot 3000 \\ &= 2,18 \cdot 10^7 \text{ mm}^3 = 21,8 \text{ dm}^3 = 21,8 \text{ l} \end{aligned}$$

Aan de hand van de specificaties van het drukvat en formule  $p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_{tot}}$  kan de druk op het projectieloppervlak bij het verlaten van het projectiel van het kanon  $p_2$ , berekend worden: (fountentheorie kan hier van pas komen)

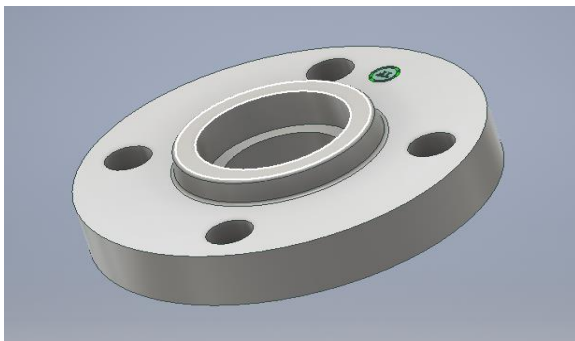
$$p_2 = \frac{7 \text{ MPa} \cdot 20 \text{ l}}{(20 + 21,8) \text{ l}} = 3,35 \text{ MPa}$$

Het mondstuk is een holle buis, met als functie het verbinden van het drukvat met de flens.

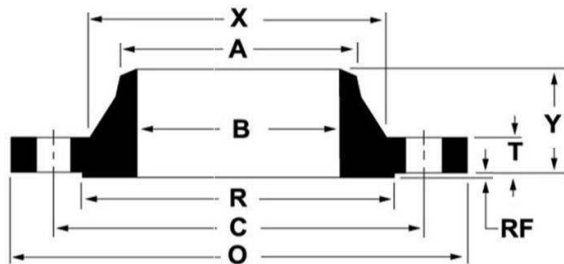


Figuur 26: Het mondstuk

Op het drukvat is een flens gelast. Deze is van het type 'Welding Neck (WN) ASME B16.5: Class 600 lbs'. Deze flens werd geselecteerd omwille van de binnenmaat van 2". Dit komt overeen met de doorstroomdiameter van de afvuurklep. Ook de lasbaarheid van een buis hierop speelde een rol.



Figuur 27: De flens WN ASME 16.5: Class 600 lbs

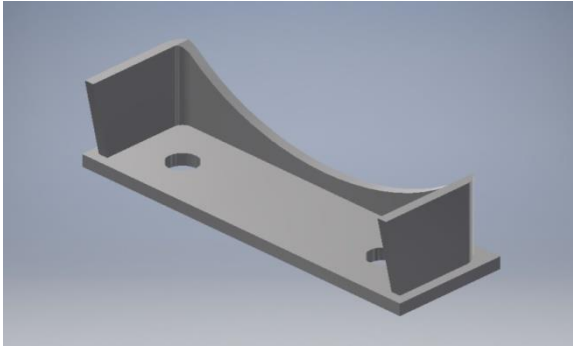


Figuur 28: Aanduiding belangrijke maten van WN flens [14]

Tabel 2: Parameter WN ANSI B16.5 Class 600 flens [14]


ANSI B16.5 CLASS 600 WELDING NECK FLANGES											
Nominal Pipe Size	Outside Diameter (O)	Thickness (T)	Raised Face Diameter (R)	Length Thru Hub (Y)	Point of Weld (A)	Hub Diameter (X)	Bore (B)	Number of Holes	Diameter of Holes	Bolt Circle (C)	Approximate Weight (lbs)
1/2	3.75	0.56	1.38	2.06	0.84	1.50	Specified by purchaser	4	0.63	2.63	2
3/4	4.63	0.63	1.69	2.25	1.05	1.88	Specified by purchaser	4	0.75	3.25	4
1	4.88	0.69	2.00	2.44	1.32	2.13	Specified by purchaser	4	0.75	3.50	4
1 1/4	5.25	0.81	2.50	2.63	1.66	2.50	Specified by purchaser	4	0.75	3.88	6
1 1/2	6.13	0.88	2.88	2.75	1.90	2.75	Specified by purchaser	4	0.88	4.50	8
2	6.50	1.00	3.63	2.88	2.38	3.31	Specified by purchaser	8	0.75	5.00	12
2 1/2	7.50	1.13	4.13	3.13	2.88	3.94	Specified by purchaser	8	0.88	5.88	18
3	8.25	1.25	5.00	3.25	3.50	4.63	Specified by purchaser	8	0.88	6.63	23

Om de stabiliteit van het geheel te garanderen zijn er 2 ondersteuning voorzien uit plaatstaal. Deze worden met behulp van bouten gemonteerd op een tafel. Het drukvat wordt op de 2 ondersteuning gelast.



Figuur 29: De ondersteuning voor het drukvat

Op het drukvat is een naamplaat aangebracht. Deze bevat 2 groepen van informatie. In de bovenste helft staat er voornamelijk informatie over het drukvat zelf. Hierin worden bijvoorbeeld de keuringen en de fabrikant weergegeven. In de onderste helft geeft de naamplaat informatie over het gas dat erin zit en ontwerpparameters, zoals het volume en de maximale druk.

MANUFACTURER & COUNTRY of ORIGIN	LASBEDRIJF WILDERINK B.V. NETHERLANDS	
TAG No.	V-01	YEAR of MFR. 2016
P.O. No.	???	P.O. DATE
MFR. SERIAL No.	V-160??-01	
DESIGN CODE	EN13445	 INSPECTORS STAMP/DATE
NOTIFIED BODY	0343	
EQUIPMENT CAT.	III (Table2)	
SERVICE		
		UNITS
FLUID	AIR	
PRODUCT GROUP	GASOUS, Group 2	
MATERIAL	CS, P265 GH / P235 GM	
VOLUME	20	L.
DESIGN PRESSURE	+70	BARG.
DESIGN MAX. TEMP.	+50	°C.
DESIGN MIN. TEMP.	0	°C.
TEST PRESSURE	100.1	BARG.
DATE OF TEST		
DRY/OPERATING/TEST	43	43
		67
		KG.

Figuur 30: De naamplaat

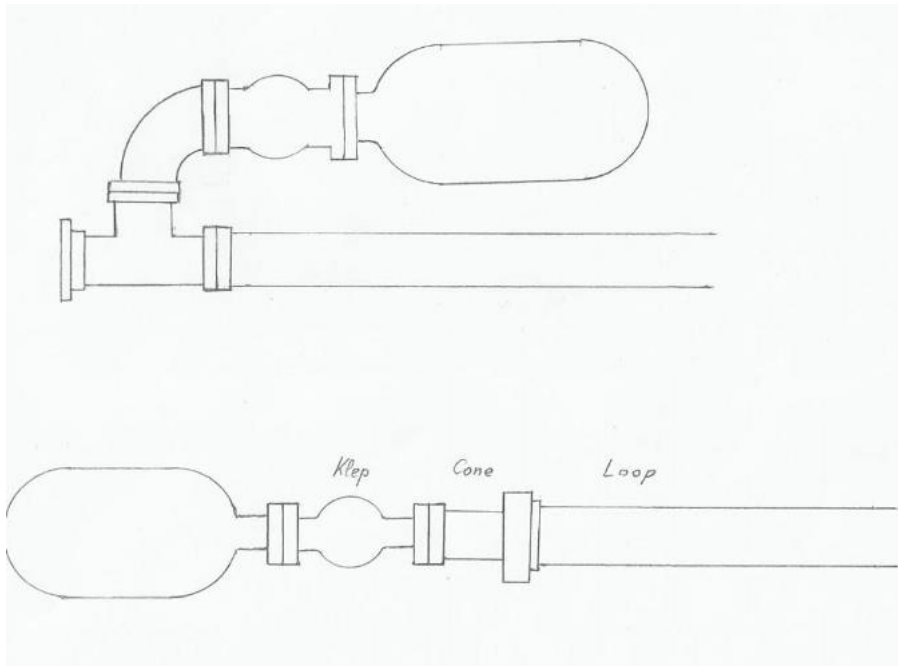
Een drukvat kan niet in dienst worden genomen, voordat er een CE-markering aangebracht is. Dit is een markering die aangeeft, dat een product voldoet aan de daaraan gestelde eisen binnen de Europese Economische Ruimte (ERR). Een product verkrijgt de CE-markering door een notified body, een keuringsinstantie aangewezen door de overheid, nadat deze een reeks testen heeft doorstaan. Eén van de testen is een druktest. De druk bij deze test is weergegeven op de naamplaat. Deze is altijd hoger dan de werkdruk van het drukvat en bedraagt '100 barg' of 10 MPa.

Bij het ontwerpen zijn er twee mogelijkheden voor de installatie van het drukvat overwogen, omdat één van de eisen het ontwerpen van een drukvat is.

Bij een eerste concept is het drukvat direct gekoppeld aan de afvuurklep en de afvuurklep op zijn beurt aan een T-stuk. Hierbij is het mogelijk het projectiel vanachter in het kanon te plaatsen. Na het plaatsen wordt het afgesloten met een afsluitplug met schroefdraad. Ook is er het voordeel, dat het geheel compacter is. Het nadeel is dat door de bocht en het T-stuk, er een groot drukverlies optreedt. Bovendien is er veel extra volume aanwezig, waardoor de druk  $p_2$  achter het projectieloppervlak bij het verlaten van het projectiel van de loop gaat beperkt worden.

Bij het tweede concept staan alle onderdelen van het kanon in één lijn. Dit concept is minder compact, maar het weegt niet op tegen het groot voordeel dat er een goede doorstroming aanwezig is, omwille van de beperkte verliezen en het kleinere volume van extra ruimte. Bij dit concept is er wel niet de mogelijkheid, het projectiel aan de achterzijde te laden.

Uiteindelijk is er gekozen voor het tweede concept, omdat een goede doorstroming veel belangrijker is dan een compact geheel en een laadsysteem aan de achterzijde. De achterlader werd nadien op een andere manier geconstrueerd (zie 3.2.5 Kegel).



Figuur 31: Schetstekening concepten drukvat: met T-stuk (bovenaan) en opstelling in één lijn (onderaan)

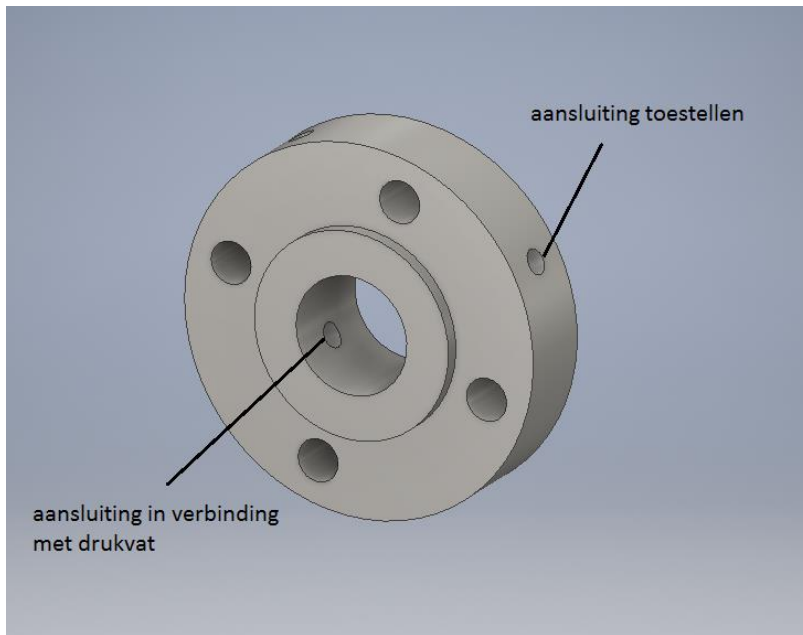
### 3.2.3 Tussenstuk

Het tussenstuk bevindt zich tussen het drukvat en de Clark Cooper EH70 afvuurklep. Dit stuk maakt het mogelijk het drukvat te laden en te ontladen. Ook kan met behulp van het tussenstuk de druk afgelezen worden.

Het tussenstuk heeft drie aansluitingen aan de buitenkant om toestellen op aan te sluiten. Eén aansluiting om te laden m.b.v. een Clark Cooper EH30 klep, één aansluiting om te ontladen ook m.b.v. een Clark Cooper EH30 klep en één aansluiting om de druk van de perslucht te meten. De druk wordt gemeten met een WIKA A-10 druksensor. Deze is verbonden met de display. De overeenkomstige aansluitingen aan de binnenkant van het tussenstuk staan in verbinding met het drukvat.

Het ontwerp van het tussenstuk is gebaseerd op dat van een flens, omdat bij het drukvat en de afvuurklep gebruik gemaakt is van flenzen. Het kan ook gezien worden, als een geheel van twee flenzen die tegen elkaar staan.

Het tussenstuk is vervaardigd uit roestvast stafmateriaal (cilindervormig materiaal), waar aan beide zijden de vorm van een flens (verhoogde lip) afgedraaid is. Verder is er voor een optimale doorstroming van het drukvat naar de afvuurklep gebruik gemaakt van dezelfde binnendiameter als van de gebruikte flenzen.



Figuur 32: Het tussenstuk



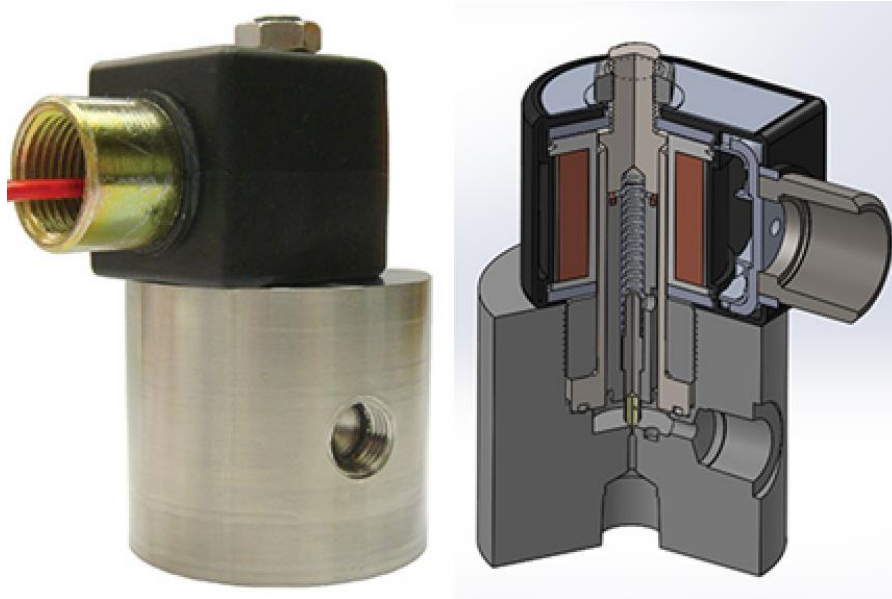
Figuur 33: Druksensor WIKO A-10 (0-10 MPa) [15]

### 3.2.4 Kleppen

De perslucht doorloopt 3 stadia tijdens een schieting. Eerst wordt het kanon geladen. Het drukvat wordt hierbij gevuld met perslucht. Vervolgens wordt de klep geopend waardoor de perslucht ontsnapt uit het drukvat naar de loop. Als laatste duwt de perslucht het projectiel uit de loop. Het kan ook gebeuren, dat er een noodsituatie optreedt. Hierbij zal het kanon ontladend moeten worden. Deze acties worden gedaan met behulp van kleppen.

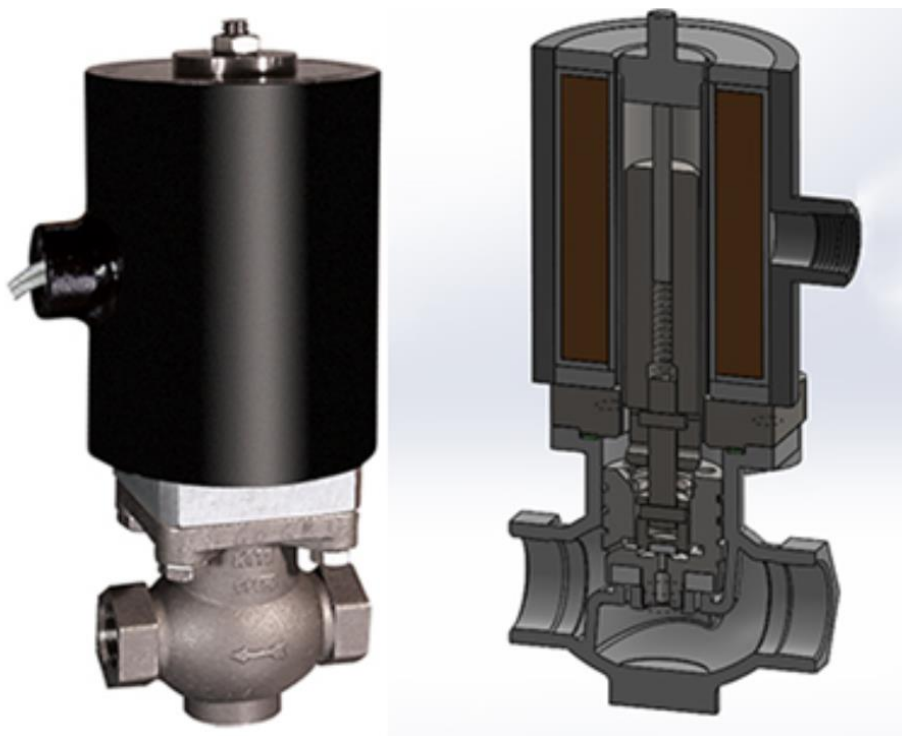
Het ontwerp bezit drie kleppen voor het uitvoeren van de drie acties (laden, schieten, ontladen). De drie kleppen zijn van het merk Clark Cooper. Het zijn normaal gesloten kleppen die elektrisch bediend worden, via een spoel. Het grote voordeel van deze kleppen is, dat ze kunnen openen op minder dan 0,5 s. Dit is een cruciaal element, want hoe sneller de klep kan openen, hoe beter het is voor de doorstroming van de perslucht en de directe drukopbouw op het projectieloppervlak.

Voor het laden en ontladen gebruikt men kleppen van het type Clark Cooper EH30. De reden hiervoor is, omdat het ABAL ze op voorraad had liggen en ze ook nog eens voldoen voor deze toepassing.



Figuur 34: Klep Clark Cooper EH30 (in- en uitlaat 1/4"; schakeltijd = 0,5 s) [16]

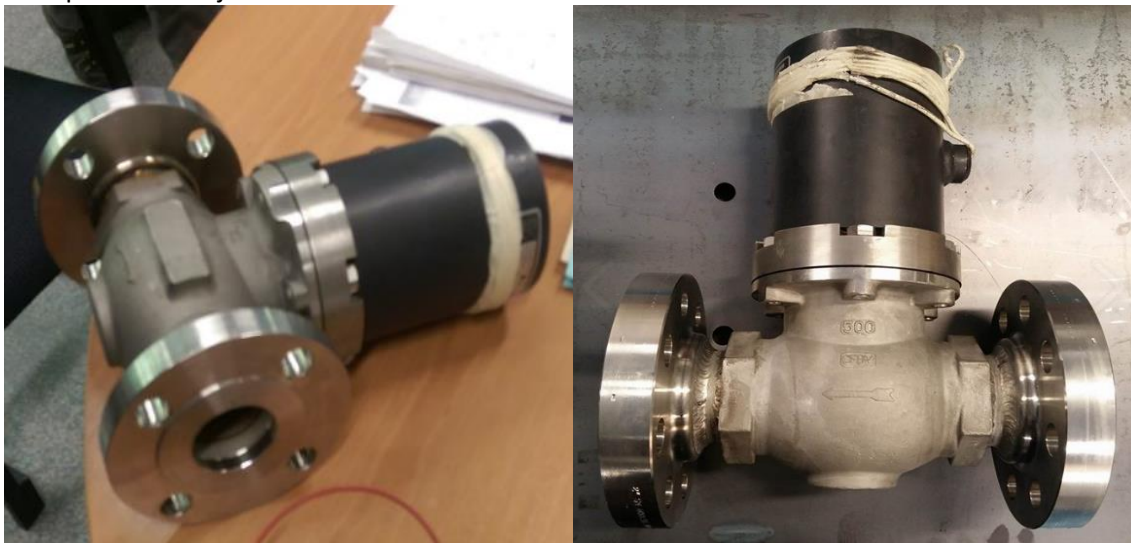
De klep gebruikt bij het afvuren is van het type Clark Cooper EH70. Het ABAL had ook deze klep liggen op voorraad. Op vlak van doorstroming voldeed de klep aan de eisen. De in- en uitlaat heeft een voldoende grote waarde, namelijk 2". Dit beperkt de drukverliezen, vanwege de grote doorstroming.



Figuur 35: Afvuurklep Clark Cooper EH70 (doorlaat: 2"; schakeltijd = 0,5 s) [17]

De klep was ook voorzien van flenzen, aangebracht aan de in- en uitgang bij de fabricage. De bevestiging wordt gerealiseerd door een lasbewerking. De flenzen behoren tot de ANSI drukklasse van 150 lbs. Na een analyse over de drukklasse van de flenzen, werd waargenomen dat de flenzen niet voldoen binnen dit concept. De flenzen kunnen maar drukken aan van 2 MPa, terwijl binnen dit concept drukken van 7 MPa van toepassing zijn.

Uiteindelijk werd de keuze gemaakt, de flenzen te laten verwijderen en nieuwe flenzen te lassen behorend tot de ANSI drukklasse van 600 lbs. Deze flenzen zijn toepasbaar in situaties, waarbij drukken aanwezig zijn tot 10 MPa. De klep gebruiksklaar maken heeft veel moeite en tijd gekost, omdat het afzagen van de flenzen niet evident was en er een buis zat in de flens en de klep. Deze moest voor een goede doorstroming zorgen. De buis werd uiteindelijk met een uiterst precies draaiproces verwijderd.



Figuur 36: Klep voor (links) en na de aanpassing (rechts)

#### DIN PRESSURE CLASSES ( bar )

1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	64	100	160	250	320	400
---	-----	-----	---	---	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

#### ANSI PRESSURE CLASSES ( CLASS )

150	300	400	600	900	1500	2500
-----	-----	-----	-----	-----	------	------

#### ANSI NORM- DIN NORM CONVERSION TABLE

ANSI	CLASS	150	300	400	600	900	1500	2500
DIN	BAR	20	50	64	100	150	250	420

1 pound per square = 0,06894757 bar  
 1 pound per square = 0,006894757 megapascals (Mpa)

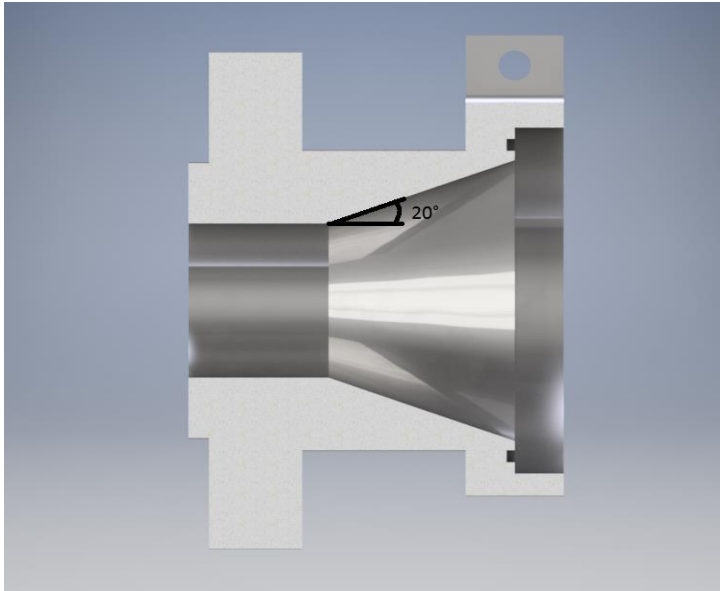
Figuur 37: Vergelijking genormeerde drukklassen voor flenzen [18]

### 3.2.5 Kegel

De kegel zorgt voor de verbinding tussen de afvuurklep en de loop. Hierbij is het van belang, dat de stroming zo laminair mogelijk blijft. De naam komt van de kegelvormige holte binnenin.

De kegel in zijn geheel bestaat uit een samenstelling van twee componenten. De kegel zelf die de perslucht doorlaat en een voet ter ondersteuning van de kegel.

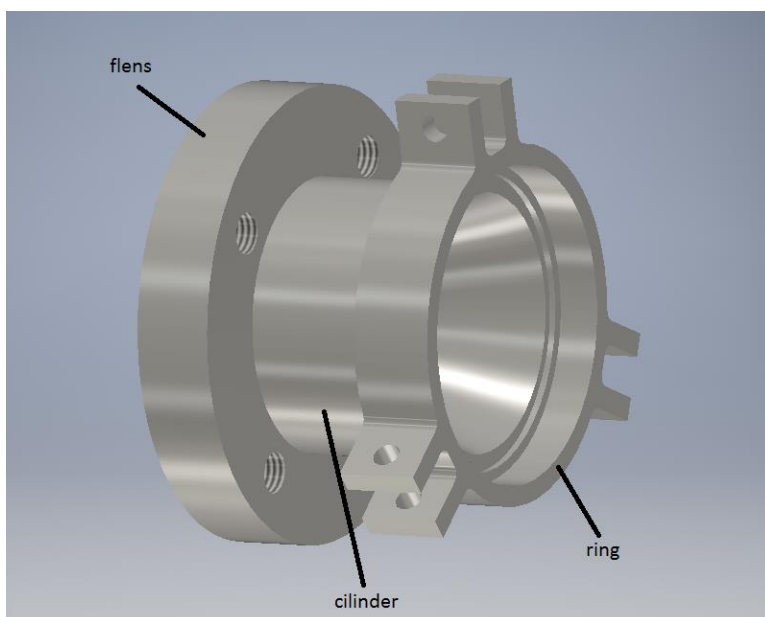
Het ontwerp komt voort uit een al eerder ontworpen kegel, die gebruikt wordt in het kruitkanon. Aan de binnenkant heeft het aan de ingang dezelfde diameter als de klep, terwijl het aan zijn uitgang de diameter van de loop bezit. De kegelvorm is te zien op de doorsnedetekening (figuur 38). De uitstroomhoek ten gevolge van de vorm van de kegel bedraagt  $20^\circ$ . Dit is een waarde bepaald door het ABAL zelf, afkomstig van een doctoraatsonderzoek [18].



**Figuur 38: Kegel met uitstroomhoek van  $20^\circ$**

De kegel is één draaistuk. Aan de buitenkant ziet het er uit als een cilinder, met aan één uiteinde een flens en aan het andere uiteinde een ring.

De functie van de flensvorm is, om een bevestiging te voorzien tussen de afvuurklep en de kegel. De ring is vervaardigd voor een verbinding van de kegel en de loop.



**Figuur 39: Kegel met de onderdelen**



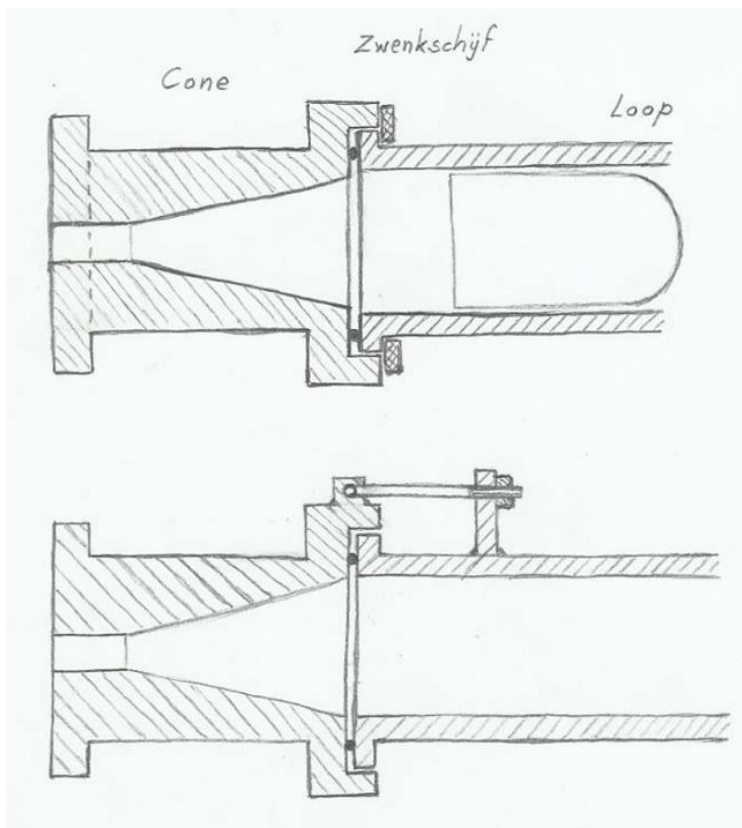
Voor de **verbinding van de kegel met de loop** is er, in eerste instantie, nagedacht over verschillende mogelijke concepten:

- Een schroefdraadverbinding waarbij er aan de buitenkant van de loop en aan de binnenzijde van de kegel schroefdraad is aangebracht,
- Een vormgesloten verbinding door middel van zwenkschijven,
- Een boutverbinding waarbij er gebruik wordt gemaakt van zwenkbouten.

Bij de *schroefdraadverbinding* zou er een sterke verbinding ontstaan, maar het is redelijk omslachtig om een loop van 3 meter lang rond te draaien bij de montage, met in het achterhoofd dat het kanon bij elke schieting moet opgebouwd en afgebroken worden. Dit probleem kan opgelost worden door een koppelstuk te maken die de loop en de kegel aan elkaar koppelt. Hierdoor zal echter de complexiteit van het te maken stuk groter worden, doordat de afmetingen van de flensverbinding het niet toelaten om het koppelstuk rechtstreeks hierover te schuiven.

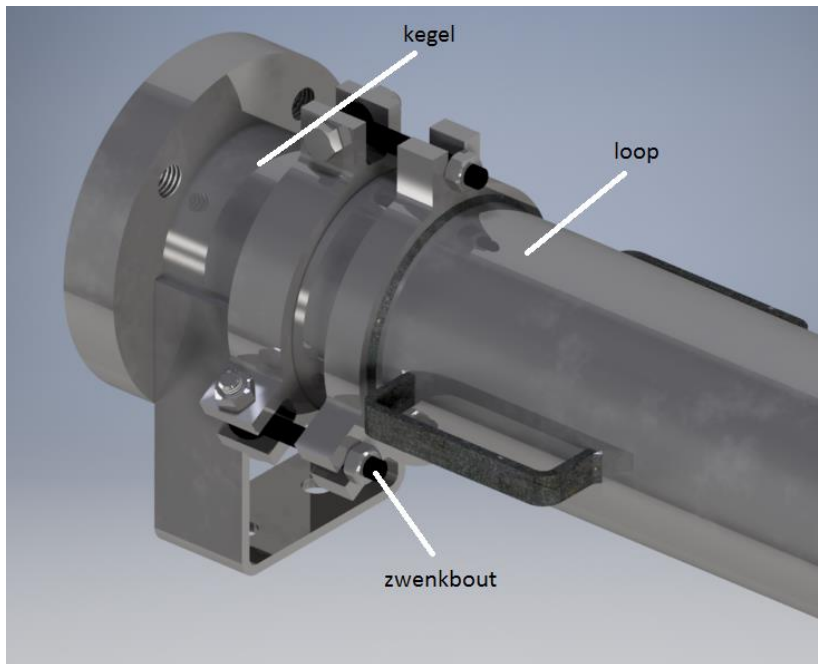
De *vormgesloten verbinding* waar gebruik gemaakt wordt van zwenkschijven, was ook één van de mogelijke opties. Het nadeel hiervan is dat de door de O-ring afdichtingen die er gebruikt worden (zie 3.2.5 Kegel), het moeilijk wordt om de zwenkschijven af te sluiten. De o-ringen moet immers samengedrukt worden en hiervoor is een grote kracht nodig.

Als laatste mogelijke oplossing was er de *boutverbinding*. Hierbij wordt op de loop en op de kegel een ring voorzien. Hier worden bouten doorgestoken, die gezwenkt kunnen worden. Het aandraaien van de moeren kan dan via een moment- of een ringsleutel gebeuren. Met deze oplossing wordt het nadeel van de zwenkschijven weggewerkt.



Figuur 40: Schetstekening van de kegel met zwenkschijf (boven) en zwenkbout (onder)

Omwille van de voordelen van de boutverbinding ten opzichte van de andere verbindingen, is de boutverbinding met zwenkbouten uitgevoerd. Deze keuze is ook de reden waarom de kegel uit één stuk is gefabriceerd.



**Figuur 41: Tekening systeem met zwenkbouten**

Bij het afvuren van een projectiel wordt de loop van de kegel gedrukt. De zwenkbouten houden deze twee onderdelen samen en worden op trek belast.

De totale kracht uitgeoefend op de kegel is gelijk aan de druk uitgeoefend op de gehele geprojecteerde oppervlakte:

$$F = p \cdot A;$$

*F=kracht op het geprojecteerde oppervlakte (N)*

*p=druk op de gehele geprojecteerde oppervlakte (MPa)*

*A=geprojecteerde oppervlakte (m<sup>2</sup>)*

$$F = p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4};$$

*d=diameter geprojecteerde oppervlakte (m)*

$$F = 70 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot \frac{\pi \cdot (0,095 \text{ m})^2}{4}$$

$$F = 49617,5 \text{ N}$$

De kracht wordt opgevangen en verdeeld onder de drie bouten:

$$F_B = \frac{F}{n};$$

*F<sub>B</sub>=bedrijfslast per bout (N)*

*n=aantal bouten*

$$F_B = \frac{49617,5 \text{ N}}{3}$$

$$F_B = 16539,2 \text{ N}$$

Bepaling sterkteklasse geeft [19]:

**Bout M10 (sterkteklasse 8.8)**

Hieronder wordt een controleberekening gedaan:

Doordat bij het afschieten van het projectiel, de inwendige druk vergroot moet de benodigde schroefkracht voor de bedrijfstoestand bepaald worden.

De minimale schroefkracht wordt berekend met:

$$F_{SB} = F_B + F_{DB};$$

$F_B$ =bedrijfslast van de O-ring (N)

$F_{DB}$ =voervormingskracht O-ring in bedrijfstoestand (N)

De berekening van de bedrijfslast gebeurt als volgt:

$$F_B = p \cdot \pi \cdot \frac{d_D^2}{4}$$

$$F_B = 7 \cdot \pi \cdot \frac{(103 \text{ mm})^2}{4}$$

$$F_B = 58326 \text{ N}$$

De vervormingskracht in bedrijfstoestand (klemkracht) is:

$$F_{DB} = \pi \cdot d_D \cdot p \cdot SD \cdot k_1;$$

$SD$ =veiligheidsfactor

$k_1$ =fictieve werkbreedte van de O-ring [19]

$$F_{DB} = \pi \cdot 103 \text{ mm} \cdot \frac{7 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot 1,2 \cdot 0,5 \cdot 3 \text{ mm}$$

$$F_{DB} = 4077,16 \text{ N}$$

Het resultaat voor de minimale schroefkracht is dan:

$$F_{SB} = 58326 \text{ N} + 4077,16 \text{ N}$$

$$F_{SB} = 62403,2 \text{ N}$$

Verdeeld over drie bouten geeft het:

$$F_{SB} = \frac{62403,2 \text{ N}}{3}$$

$$F_{SB} = 20801,07 \text{ N}$$

De minimale schroefkracht moet kleiner zijn dan de spankracht :

$$F_{SB} = 20801,07 \text{ N} < F_{SP};$$

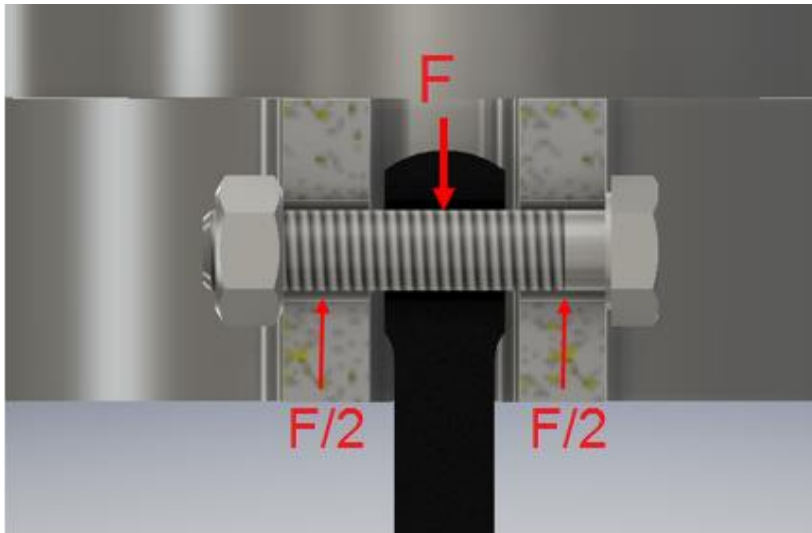
$F_{SP}$ =spankracht (N) [19]

$$20,80 \text{ kN} < 29,6 \text{ kN}$$

**Aan de hand van de berekeningen werd aangetoond dat, de gekozen M10 (sterkteklasse 8.8) bouten voldoen bij deze toepassing.**

Berekening afschuifkracht en buigmoment van de bouten M10 (sterkteklasse 8.8):

Deze boutverbinding kan gezien worden als een penverbinding zoals te zien is in figuur 41. De boutverbinding wordt op buiging, afschuiving en vlaktedruk belast. De bout stelt een buigstaaf (ligger) voor, die door de kracht  $F$  belast wordt. Afhankelijk van de speling tussen de bout en de gaffelboring krijgt de bout met verschillende inklemvoorwaarden te maken. In het ontwerp zit de bout met een vaste passing in de gaffel en een losse passing in de zwenkbout.



**Figuur 42: Doorsnede boutverbinding op afschuiving belast**

Vanuit de doorsnede wordt er nu verder gewerkt. Met behulp van de inklemvoorwaarden worden de NDM-lijnen (normaalkracht-, dwarskracht- en momentlijn) opgesteld. De bout wordt als een, aan weerskanten ingeklemde, ligger voorgesteld. De kracht  $F$  bedraagt 16539,2N

De som van de krachten in de x-richting is gelijk aan 0 (evenwichtsvoorwaarde in de x-richting):

$$\sum F_x = 0$$

De som van de krachten in de y-richting is gelijk aan 0 (evenwichtsvoorwaarde in de y-richting):

$$\sum F_y = 0$$

$$-F + R_A + R_B = 0 ;$$

$R_A, R_B =$  reactiekrachten in respectievelijk punt A

$BF =$  trekkracht in de bout t. g. v. de bedrijfslast

$$R_A + R_B = F$$

De som van de momenten rond punt A is gelijk aan 0 (evenwichtsvoorwaarde rond punt A):

$$\sum M_A = 0;$$

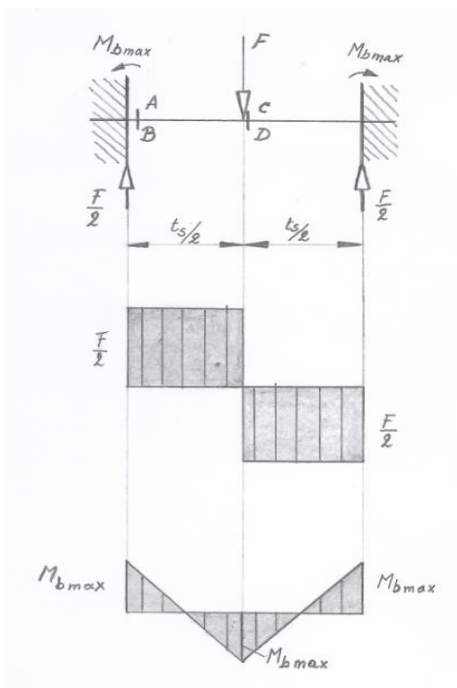
$M_A =$  buigmoment rond punt A (Nm)

$$F \cdot \frac{t_s}{2} - R_B \cdot t_s = 0;$$

$t_s =$  de afstand van de kracht tot het steunpunt (m)

$$R_B = \frac{F}{2}$$

$$\begin{cases} R_A = 8269,6 \text{ N} \\ R_B = 8269,6 \text{ N} \end{cases}$$



Figuur 43: NDM-lijnen bout

Het maximaal buigmoment kan berekend worden via de formule uit tabel 3.

$$M_{max} = \frac{F \cdot t_s}{8}$$

$$M_{max} = \frac{16539,2 \text{ N} \cdot 0,015 \text{ m}}{8}$$

$$M_{max} = 31,01 \text{ Nm}$$

Tabel 3: Belastingsgeval van de bout [20]

Belastingsituatie	Max. moment	Doorbuiging
Aan twee zijden ingeklemd met een puntbelasting in het midden.	$M = \frac{PxL}{8}$	$f = \frac{PxL^3}{192xEI}$

De buigspanning in de bout bedraagt:

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot y}{I};$$

$I =$  traagheidsmoment ( $mm^4$ )

$y =$  de afstand van het zwaartepunt tot de uiterste vezel ( $mm$ )

Met traagheidsmoment:

$$I = \frac{\pi \cdot C^4}{4};$$

$C =$  de straal van de bout ( $m$ )

$$I = \frac{\pi \cdot (0,005 \text{ m})^4}{4}$$

$$I = 4,9087 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\sigma = \frac{31,01 \text{ Nm} \cdot 0,005 \text{ m}}{4,9087 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 315,88 \text{ N/mm}^2$$

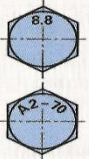
De toelaatbare spanning in de bout zal bij het gebruik van sterkteklasse 8.8, rekening houdend met een veiligheidsfactor van 0,8 en een wisselende belasting (factor = 2/3), 341,33 N/mm<sup>2</sup> bedragen.

$$\sigma_{toel} > \sigma$$

$$0,8 \cdot \frac{2}{3} \cdot 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \frac{315,88 \text{ N}}{\text{mm}^2}$$

$$341,33 \text{ N/mm}^2 > 315,88 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{ok}$$

Tabel 4: Sterkteklassen en materiaalkenmerken van bouten [21]

Festigheidsklassen und Werkstoffkennwerte		Festigheidsklassen für Schrauben aus								
	Werkstoffkennwerte	unlegierten und legierten Stählen						nichtrostenden Stählen <sup>1)</sup>		
		5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	A2-50	A4-50	A2-70
	Zugfestigkeit $R_m$ in N/mm <sup>2</sup>	500	600	800	900	1000	1200	500	500	700
	Streckgrenze $R_e$ in N/mm <sup>2</sup>	400	480	640	720	900	1080	210	210	450
	Bruchdehnung $A$ in %	–	–	12	10	9	8	20	20	13

<sup>1)</sup> Die Werkstoffkennwerte gelten für Gewinde ≤ M20.

Hierna wordt ook nog de maximale afschuiving berekend:

$$\tau_a = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t};$$

$\tau_a =$  schuifspanning in de bout

$V =$  inwendige resulterende dwarskracht (gelijk aan de trekkracht  $F_b$  van de zwenkbout)

$I =$  traagheidsmoment van de gehele dwarsdoorsede

$Q = \bar{y}' \cdot A'$ , waarin  $A'$  de oppervlakte boven de snede waar  $t$  wordt gemeten is en  $\bar{y}'$  de afstand van het zwaartepunt tot de neutrale lijn is

$$Q = \bar{y}' \cdot A'$$

$$Q = \frac{4C}{3\pi} \cdot \frac{\pi \cdot C^2}{2}$$

$$Q = \frac{4 \cdot 0,005 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 0,000025 \text{ mm}^2}{3 \cdot \pi \cdot 2}$$

$$Q = 8,33 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$$

$$\tau_a = \frac{8269,6 \text{ N} \cdot 8,333 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3}{4,9087 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4 \cdot 0,01 \text{ m}}$$

$$\tau_a = 1,403 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

$$\tau_a = 140,39 \text{ N/mm}^2$$

De toelaatbare schuifspanning in de bout zal bij het gebruik van sterkteklasse 8.8, rekening houdend met een factor van 0,6 ten opzichte van de toelaatbare spanning, 204,8 N/mm<sup>2</sup> bedragen.

$$\tau_{toel} > \tau_a$$

$$0,6 \cdot \sigma_{toel} > 140,39 \text{ N/mm}^2$$

$$0,6 \cdot 0,8 \cdot \frac{2}{3} \cdot 640 \text{ N/mm}^2 > 140,39 \text{ N/mm}^2$$

$$204,8 \text{ N/mm}^2 > 140,39 \text{ N/mm}^2$$

**Uit de berekeningen kan er besloten worden, dat de gekozen bout met diameter M10 en sterkteklasse 8.8 sterk genoeg is en dus voldoet in deze toepassing.**

#### Groefafmeting O-ringafdichting

De in de kegel toegepaste O-ringafdichting is een statische afdichting. Voor een goede afdichting moet de O-ring kunnen zwellen. Om dit zwellen van de O-ring op te vangen moet het groefoppervlak waarin de O-ring zich bevindt groter zijn dan de O-ring zelf. De diepte van de groef moet kleiner zijn dan de snoerdiameter, waardoor de ring licht voorgespannen wordt.

Tabel 5: Tabel met belastingsgeval [19]

		diepte $t/d_2$	breedte $b/d_2 (M/d_2)$
statisch	radiale inbouw	0,75 ... 0,8	1,3
	axiale inbouw	0,75 ... 0,8	1,3
	driehoekgroef	1,37	
	trapeziumgroef	0,8 ... 0,85	(0,9 ... 0,95)
dynamisch	langsbeweging		
	– bij hydrauliek	0,9	1,2
	– bij pneumatiek	0,92	1,2
	draaibeweging	0,95	1,1

In het ontwerp wordt gebruik gemaakt van een statische afdichting met een axiale inbouw.

$$\frac{t}{d_2} = 0,8;$$

$t$  = diepte van de groef (mm)

$d_2$  = snoerdiameter van de O – ring

$$t = 0,8 \cdot d_2$$

$$t = 0,8 \cdot 3 \text{ mm}$$

$$t = 2,4 \text{ mm}$$

Breedte:

$$\frac{b}{d_2} = 1,3;$$

$b$  = breedte van de groef (mm)

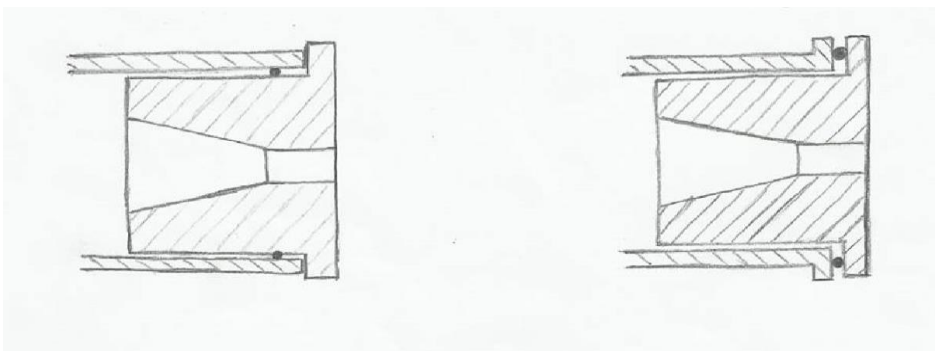
$$b = 1,3 \cdot d_2$$

$$b = 1,3 \cdot 3 \text{ mm}$$

$$b = 3,9 \text{ mm}$$

Om verlies van perslucht ten gevolge van lekken te voorkomen, moet er een **afdichting** geplaatst worden tussen de kegel en de loop. Hiervoor werden twee mogelijke opties bedacht:

- De afdichting voorzien tussen de loop en de cilindervormige rand van de kegel. Uit testen die in het verleden zijn uitgevoerd door het ABAL, is gebleken dat dit een goede afdichting is.
- De afdichting voorzien tussen de loop en de opstaande rand van de kegel. Hierbij ontstaat er ook een goede afdichting.



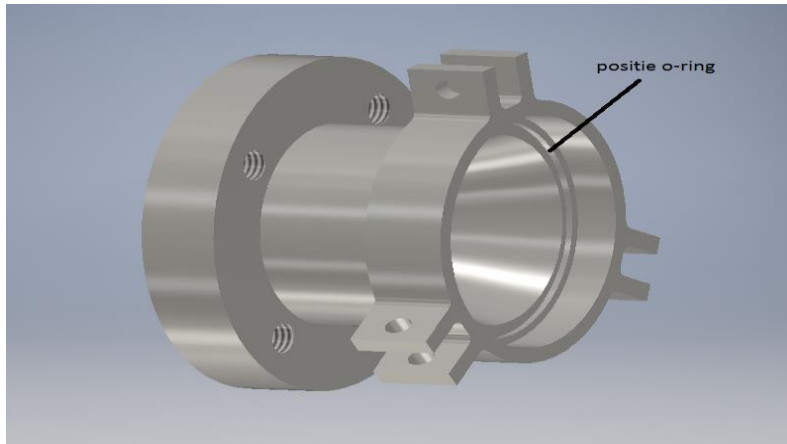
**Figuur 44: Concepttekeningen plaatsing van de afdichting tussen kegel en loop**

Bij de keuze van de locatie van de afdichting is rekening gehouden met één van de eisen uit het eisenpakket, namelijk een achterlader maken i.p.v. een klassieke voorlader. Hierbij moeten de loop en de kegel ieder keer uit elkaar geschoven worden, zodat het projectiel in de loop geplaatst kan worden.



Bij de eerste optie zal de o-ring voor veel wrijving zorgen, waardoor het verwijderen van de loop van de kegel vermoeilijkt en bovendien de o-ring ook nog heel snel zal verslijten.

Bij de tweede optie zal dit probleem er niet zijn, waardoor er is geopteerd om de tweede optie uit te voeren. De o-ring zelf is van rubber en het wordt vastgehecht met een vloeibaar afdichtingsmiddel.

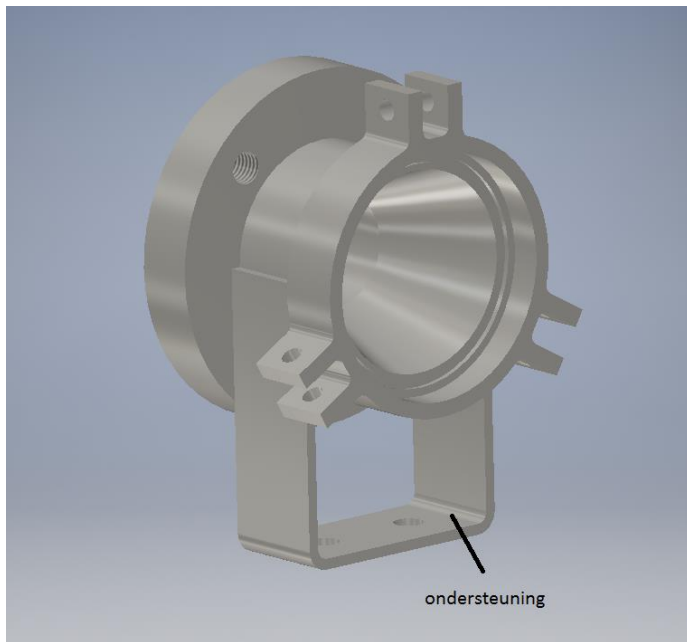


**Figuur 45: Positie O-ring**



**Figuur 46: Rubberen O-ring**

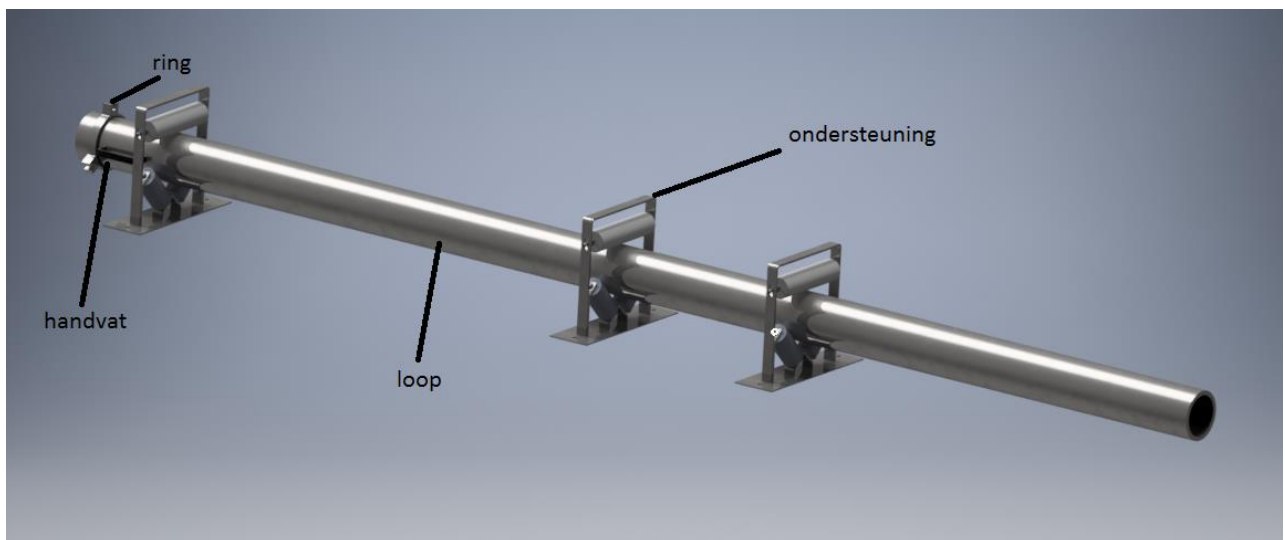
Wanneer de loop los wordt gekoppeld van de kegel, wanneer het projectiel bijvoorbeeld erin moet worden gestoken, zal het geheel naar voor kantelen. Daarom is de kegel voorzien van een ondersteuning.



Figuur 47: De kegel met zijn ondersteuning

### 3.2.6 Loop

De loop is het onderdeel van het kanon, waar het projectiel versnelt en zijn snelheid meekrijgt. Het geheel van de loop bestaat uit 4 delen. De loop, een ring die er op is gelast, 2 handvaten en 3 ondersteuning.



Figuur 48: De loop met alle onderdelen

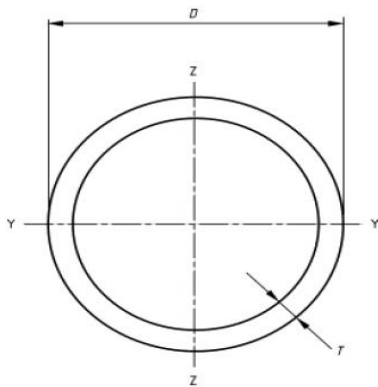
De loop die gebruikt wordt bij het kruitkanon is vervaardigd uit aluminium en heeft een binnendiameter van  $95^{+0,3}_{-0,0}$  mm en 2,5 m lengte. Tussen de aluminium buis en het aluminium projectiel ontstaat echter een grote wrijvingskracht. Er is dan ook gekozen om over te gaan naar een stalen buis, aangezien de dynamische wrijvingscoëfficiënt tussen staal en aluminium veel kleiner is.

Tabel 6: Overzicht dynamische wrijvingscoëfficiënt

Materiaal 1	Materiaal 2	Dynamische wrijvingscoëfficiënt
Aluminium	Aluminium	1,05 - 1,35
Aluminium	Staal	0,47

Volgens de norm UIC 651 OR, die gebruikt wordt bij de schietingen, moet de diameter van het projectiel  $94_{-0,1}^{+0,1}$  mm zijn (zie 3.2.1 Projectiel). Omdat een kleinere speling tussen de loop en het projectiel gunstiger is tegen het drukverlies, werd de mogelijkheid onderzocht, om de diameter van 95 mm naar 94 mm te brengen.

Als eerste stap is er gezocht naar een getrokken of naadloze buis waarbij de binnendiameter kort in de buurt komt van 94 mm. Hierbij zouden er geen verspanende bewerkingen moeten uitgevoerd worden wat gemakkelijker en kostenbesparend is. Een gelaste buis zou voor deze toepassing niet kunnen dienen zonder bewerkt te worden, aangezien de las ervoor zorgt dat er zich een lasnaad aan de binnenkant van de buis bevindt. De buizen die in aanmerking komen in deze situatie zijn:



Norm: 10220

Figuur 49: Doorsnede met afmetingen voor buizen met norm DIN EN 10220

Tabel 7: Overzicht keuzemogelijkheden loop

Buitendiameter D (mm)	Wanddikte t (mm)	Binnendiameter (mm)	Gewicht per lengte (kg/m)
101,6	3,6	94,4	8,7
108	6,3	95,4	15,8
114,3	10	94,3	25,7

Een stalen buis met een buitendiameter van 114,3 mm en een binnendiameter van 94,3 mm zou geselecteerd kunnen worden, omdat met deze buis de speling tussen de loop en het projectiel van 94 mm het kleinste is. Deze buizen vergen echter een extra behandeling, zodat er geen oxidatie ontstaat.

Daarom werd er gezocht naar een roestvast stalen uitvoering. Een getrokken naadloze roestvast stalen buis met 94 mm binnendiameter werd niet gevonden. Er werd navraag gedaan bij leveranciers of de buis bewerkt kan worden om de binnendiameter te vergroten, waardoor er niet enkel naar naadloze buizen hoeft gezocht te worden. Doordat de leveranciers niet over de machines beschikken, om een onderdeel van 3 m te draaien aan de binnenkant, werd er gezocht naar alternatieven. Volgende mogelijke oplossingen werden gevonden:

- Een roestvast stalen loop vervaardigd uit verschillende stukken buis, die in elkaar worden geschroefd
- Een aluminium buis met binnendiameter van 95 mm en een wanddikte van 10 mm
- Een stalen precisiebuis met een binnendiameter van 95 mm en een wanddikte van 10 mm

Er is uiteindelijk gekozen voor de laatste optie, een stalen precisiebuis met een binnendiameter van 95 mm en een wanddikte van 10 mm. Dit omdat deze direct beschikbaar was, veel goedkoper is dan de roestvast stalen loop en omwille van de gunstige wrijvingscoëfficiënt.

Bij het afschieten van een projectiel wordt de loop blootgesteld aan krachten, die het gevolg zijn van de drukverhoging bij het vuren. De krachten die inwerken op de loop veroorzaken spanningen binnen het materiaal van de loop. De spanningen die hier voornamelijk van toepassing zijn, zijn tangenciaalspanningen en radiaalspanningen. De axiaalspanning wordt niet in rekening gebracht, omdat de loop niet dicht is aan de uiteinden.

Over het algemeen betekent de aanduiding dunwandig, dat de verhouding tussen de inwendige straal en de wanddikte een waarde bezit groter dan tien. Met volgende berekening werd duidelijk, dat er met de geselecteerde buis, sprake is van een dikwandige buis:

$$\frac{r}{t} \geq 10 ;$$

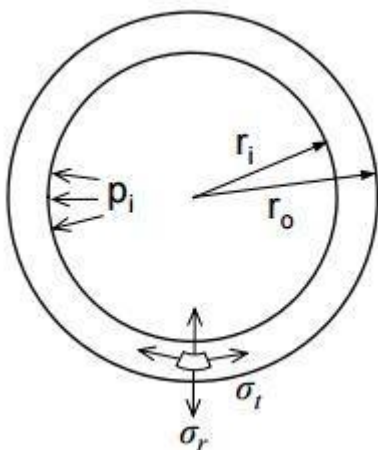
$r$  = straal van de binnendiameter van de buis (mm)

$t$  = wanddikte (mm)

$$\frac{47,5 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \leq 10$$

$$4,75 \leq 10$$

In het geval van een dikwandige buis kan het 'criterium van Lamé' gebruikt worden bij de berekeningen.



Figuur 50: Situatieschets 'Criterium van Lamé' [22]

Bij een loop uit st52 met een binnendiameter van 95 mm en een wanddikte van 10 mm, waar een inwendig druk van 7 MPa op inwerkt, is de radiaalspanning volgens het criterium van Lamé:

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \left[ 1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right];$$

$\sigma_r$  = radiaalspanning (N/mm<sup>2</sup>)

$p_i$  = inwendige druk (Pa)

$r$  = waarde straal tot het berekende punt (mm)

$r_i$  = inwendige straal van de buis (mm)

$r_0$  = uitwendige straal van de buis (mm)

$r = r_i$  (radiaalspanning is in dit geval maximaal)

$$\sigma_r = \frac{7 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot (0,0475 \text{ m})^2}{(0,0575 \text{ m})^2 - (0,0475 \text{ m})^2} \left[ 1 - \frac{(0,0575 \text{ m})^2}{(0,0475 \text{ m})^2} \right]$$

$$\sigma_r = -7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 = -7 \text{ N/mm}^2$$

De tangentiaalspanning voor dezelfde loop volgens het 'Criterium van Lamé' is:

$$\sigma_\theta = \frac{p_i r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \left[ 1 + \frac{r_0^2}{r^2} \right];$$

$\sigma_\theta$  = tangentiaalspanning (N/mm<sup>2</sup>)

$p_i$  = inwendige druk (Pa)

$r$  = waarde straal tot het berekende punt (mm)

$r_i$  = inwendige straal van de buis (mm)

$r_0$  = uitwendige straal van de buis (mm)

$r = r_i$  (radiaalspanning is in dit geval maximaal)

$$\sigma_\theta = \frac{7 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot (0,0475 \text{ m})^2}{(0,0575 \text{ m})^2 - (0,0475 \text{ m})^2} \left[ 1 + \frac{(0,0575 \text{ m})^2}{(0,0475 \text{ m})^2} \right]$$

$$\sigma_\theta = 3,7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 = 37,08 \text{ N/mm}^2$$

De toelaatbare spanning in de loop zal bij het gebruik van st52-3, rekening houdend met een veiligheidsfactor van 0,7 en een wisselende belasting (factor = 2/3) bedraagt:

$$\sigma_{toel} > \sigma_\theta$$

$$v \cdot k \cdot R_e > \sigma_\theta; v = \text{veiligheidsfactor};$$

$k$  = soort belasting

$R_e$  = vloeigrens (MPa)

$$0,7 \cdot \frac{2}{3} \cdot 355 \text{ N/mm}^2 > 37,08 \text{ N/mm}^2$$

$$165,66 \text{ N/mm}^2 > 37,08 \text{ N/mm}^2$$

De tangentiaalspanning ligt ver onder de maximale toelaatbare spanning. De loop kan dus vervaardigd worden uit st52.

### 3.2.7 Bediening

De bediening zorgt ervoor dat de kleppen worden aangestuurd en de sensoren en display van stroom worden voorzien. Het bestaat uit de elektrische kast, een druksensor en bekabeling naar de spoelen van de kleppen.

Op de kast zijn verschillende knoppen gemonteerd. Drukknoppen voor het afvuren en het ontladen van het kanon en een standenschakelaar voor het opladen van het drukvat met perslucht. Naast deze knoppen zijn er ook drie signaallampen (rood, geel en groen) geplaatst voor aan te duiden welk deel van de schakeling bediend is (afvuren, ontladen of opladen). Ook is er een display geplaatst op de kast om de gemeten druk van de digitale manometer te kunnen aflezen. Deze display wordt via het net gevoed en heeft een analoge uitgang waarop de manometer aangesloten is.



Figuur 51: De elektrische kast

Verder wordt er gebruik gemaakt van relais i.p.v. een PLC-sturing. Er is voor relais gekozen omdat dit eenvoudiger is en er niet speciaal geprogrammeerd moet worden, Aangezien ABAL niet over de expertise beschikt om PLC-sturingen te programmeren. Ook is de schakeling die gebruikt wordt in het ontwerp niet zo uitgebreid en zou het complexer en kostelijker worden om een PLC-sturing te gebruiken.

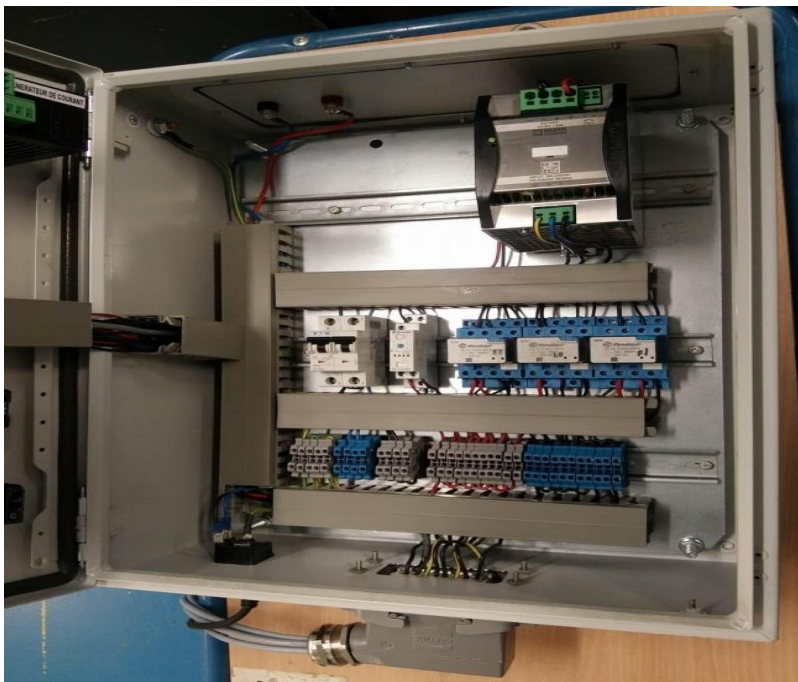
Als voeding is er gekozen voor een voeding die een spanning levert van 24 V en een stroomsterkte van 20 A. Het heeft een power boost-functie. Hierbij zal het gedurende 4 seconden lang een stroom van 30 A kunnen leveren. Er is hiervoor gekozen omdat de afvuurklep, 1 second lang bij het inschakelen, hoge piekstromen trekt.

Tabel 8: Data afvuurklep Clark Cooper EH70 [17]

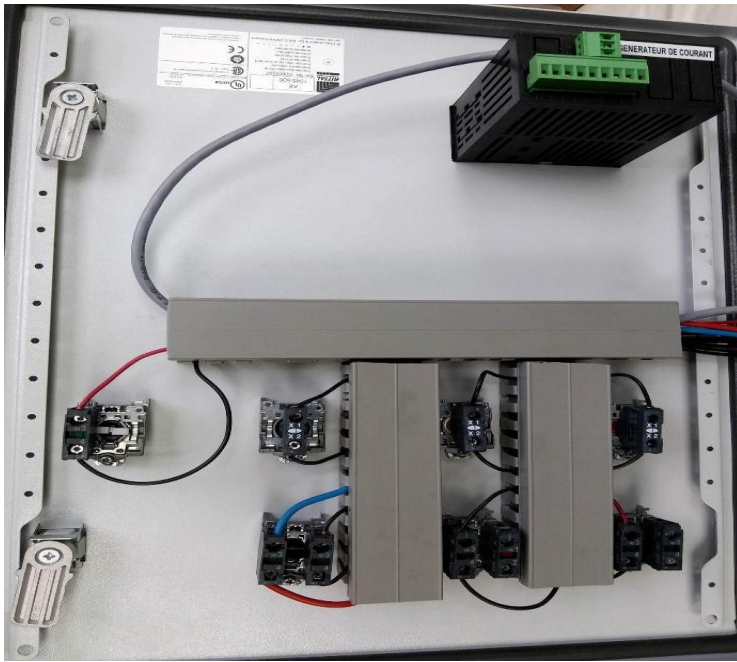
Pipe & Orifice Size	Maximum Inlet Pressure (psig)	C <sub>v</sub>	Coil	Voltages Available	Current (amps)
1/2"	1500	3.5	200 Series	24V AC/DC	3.29
3/4"	1200	7.5		120V AC/DC	0.74
1"	1200	13		220V AC/DC	0.44
1 1/2"	1200	25	300 Series	24V AC/DC	4.80
				120V AC/DC	1.00
2"	1200	48		220V AC/DC	0.44

Verder is er gebruik gemaakt van een tijdrelais die aangestuurd wordt wanneer het sleutelcontact en de afvuurknop bediend worden. Het tijdrelais zal vanaf dat het bediend wordt, de uitgang aansturen en beginnen tellen. De uitgang blijft hoog totdat de timer de ingestelde tijd heeft bereikt.

Als beveiliging van de componenten die op de netspanning aangesloten zijn, zoals de display en de voeding is er een automaat gebruikt. Om de 24 Volt kring te beschermen is er gebruik gemaakt van een glaszekering met trage werking omdat de kleppen hoge piekstromen trekken.



Figuur 52: De elektrische kast, de binnenkant



Figuur 53: De elektrische kast, binnenkant van de deur



## 4 Uitvoerfase

Deze fase van het project is de fase, waarbij er effectief zaken werden uitgevoerd. Er werden offertes aangevraagd voor de onderdelen van het kanon. Aan de hand van de verkregen offertes werden er bestellingen geplaatst, ter productie van de kanononderdelen. Als laatste proces binnen deze fase, werd het kanon opgebouwd.

### 4.1 Opvragen offertes

Voor de gemaakte tekeningen van de kanononderdelen, het drukvat, het aanpassen van de afvuurklep en de elektrische- en elektronische componenten werden er offertes aangevraagd.

De offerteaanvragen voor de kanononderdelen, het drukvat en de afvuurklep werden gestuurd naar een 20-tal bedrijven in België en Nederland. Vanwege drukte, gebrek aan interesse, het vermogen niet hebben om de betreffende diensten te leveren en de korte levertijd door tijdsgebrek binnen deze masterproef, zijn er niet meer dan vijf offertes toegekomen per onderdeel. Bovendien duurde het ontvangen van een offerte meestal meer dan een week, wat zorgde voor heel veel vertraging.

Het opvragen van de offertes werd ervaren als een proces, waarbij er veel administratief werk nodig is en er veel tijd verloren gaat.

### 4.2 Bestellen benodigheden

Omdat het ging om overheidsopdrachten, moesten per onderdeel minimum drie offertes zijn. Hieruit werd één geselecteerd op basis van criteria, door een administratieve tak in de KMS. De belangrijkste criteria waren de kostprijs en de levertijd. Voor de geselecteerde offerte kon vervolgens een bestelling geplaatst worden a.d.h.v. een bestelbon, verzonden naar de uitvoerder van de bestellingen.

Behalve het drukvat zijn de nodige onderdelen besteld. Het bestellen van het drukvat kon niet afgerond worden tijdens deze masterproef, omwille van administratieve problemen.

De levertijd van de kanononderdelen en de afvuurklep bedroeg ongeveer één maand na bestelling. In werkelijkheid is deze periode veel langer, maar dankzij connecties met de leverancier van deze bestellingen, was het mogelijk de levertijd sterk in te korten. Het ontvangen van de elektrische- en elektronische componenten was meestal niet meer dan één week. Enkel de display van de bediening werd nooit ontvangen binnen de tijdsperiode van deze masterproef.

De totale kostprijs van de onderdelen van dit project bedraagt € 14.618,00. Dit is dus onder het maximum voorzien voor dit project.

Tabel 9: Kostprijsberekening project

Onderdeel	Kostprijs (€)
Kanononderdelen	8.114,00
Bewerking klep	1.262,00
Elektrische- elektronische componenten	1.682,00
Drukvat	3.560,00
Totale kostprijs	14.618,00

### 4.3 Montage

De montage van het luchtdrukkanon was een proces dat vlot verliep. Het kanon werd geplaatst op twee afzonderlijke tafels, die in de hoogte instelbaar zijn. Het deel van het drukvat tot de kegel samen met één ondersteuning van de loop werden op een plaat gemonteerd die op één tafel werd geplaatst, terwijl de loop met de overige ondersteuning op de andere tafel werd geplaatst.

Eerder werd al vermeld (zie 4.2 Bestellen benodigdheden), dat de bestelling van het drukvat niet is afgehandeld geraakt tijdens deze masterproef en is dit dus ook niet geleverd. In de plaats van het bestelde drukvat is er een kleiner drukvat gebruikt als tussenoplossing. Dit heeft een inhoud van 10 liter en is bestand tegen drukken tot 10 MPa.



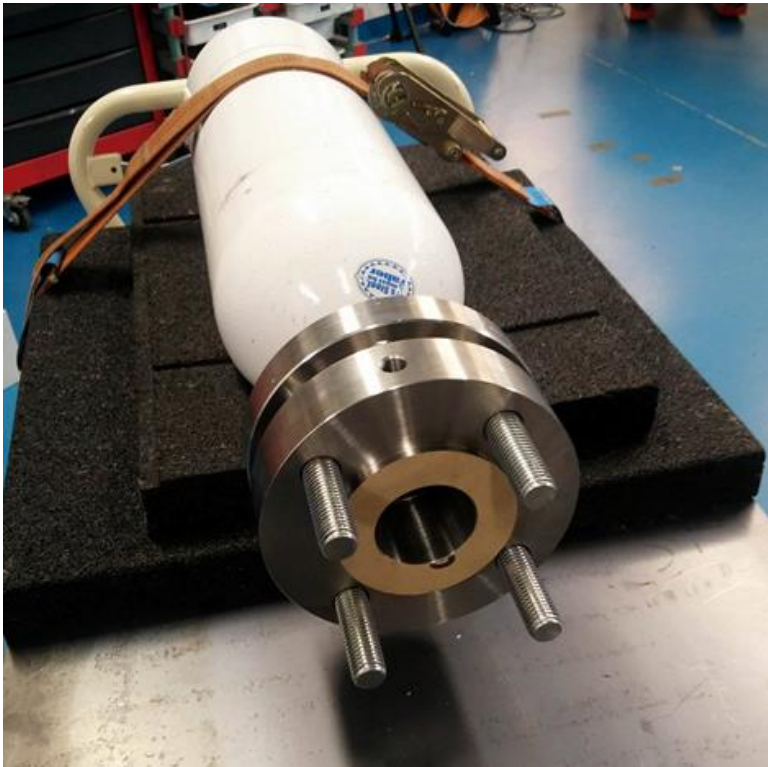
Figuur 54: Het drukvat van de tussenoplossing

Bij de tussenoplossing ontstond er het probleem, dat het kleiner drukvat niet voorzien is van een flens, wat nodig is voor het verbinden met het tussenstuk. Er is wel schroefdraad aangebracht aan de binnenkant van dit drukvat. Daarom werd er een verbindingsstuk gemaakt van dezelfde schroefdraad en dit verbindingsstuk werd gelast op een flens. Op deze manier was het wel mogelijk het drukvat en het tussenstuk te verbinden met elkaar.



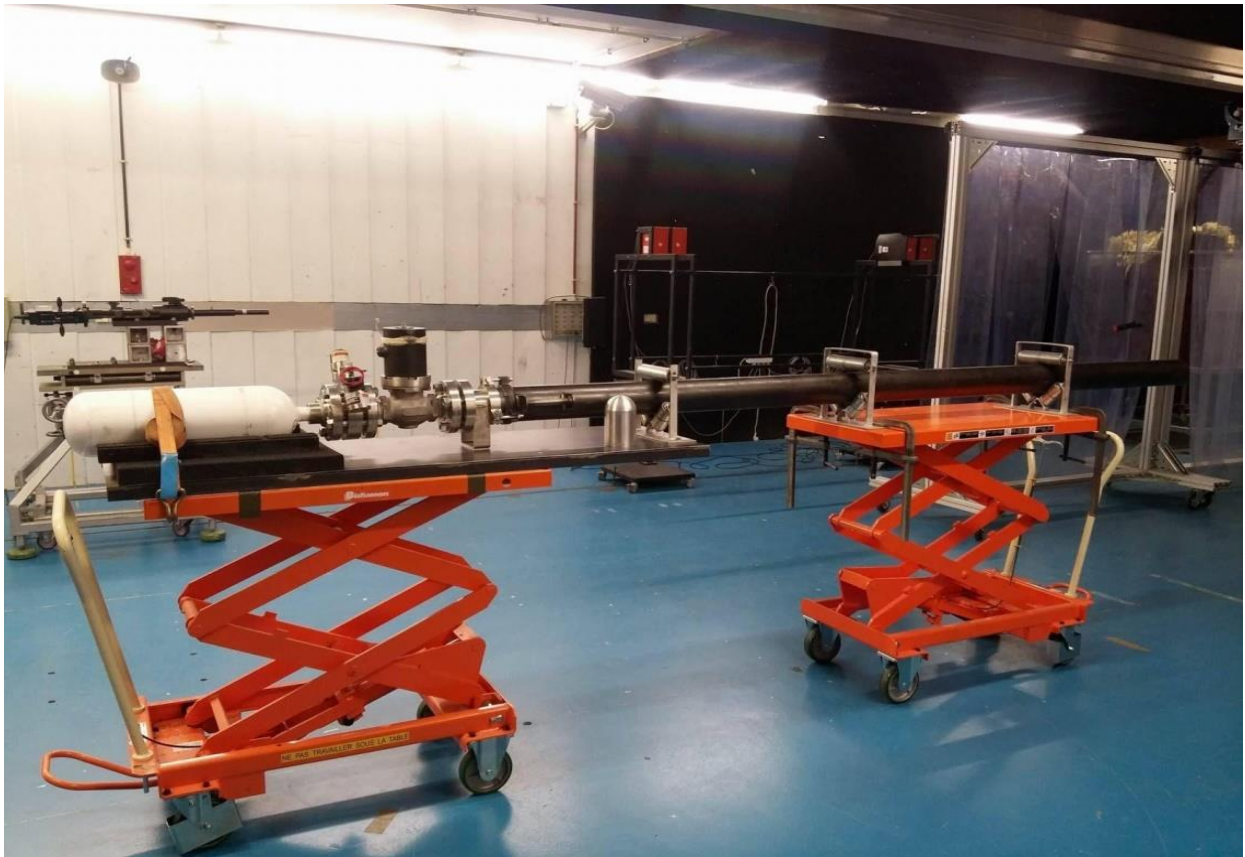
Figuur 55: Het verbindingsstuk van de tussenoplossing

Onder het nieuw drukvat werden rubberen banden gelegd, zodat het zich op de vereiste hoogte bevond voor het monteren. Het drukvat is vastgemaakt op de tafel met behulp van een riem.



**Figuur 56: Het drukvat met de flenzen erop gemonteerd, het pakkingpapier is hier zichtbaar (lichtbruin)**

Het kanon werd zonder meer problemen gemonteerd. Om de onderdelen te voorzien van een goede afdichting werd er pakkingpapier en een afdichtingsmiddel gebruikt. Dit is essentieel, omdat het lekken van de perslucht niet is toegestaan. De kleppen op het tussenstuk en de afvuurklep werden verbonden met de elektrische kast met behulp van draden. Omdat de display niet is aangekomen tijdens de realisatie van deze masterproef, werd de druksensor van het tussenstuk gehaald. In de plaats hiervan is een analoge manometer gemonteerd, zodat er toch een drukindicatie aanwezig zou zijn. Deze manometer heeft een nauwkeurigheid tot op 1 MPa of '10 bar'.



**Figuur 57: Het luchtdrukkanon**

Bij het opbergen zal enkel de loop van de kegel gehaald worden. De overige onderdelen zullen gemonteerd blijven op de tafels. Hierdoor zal de samenstelling van het kanon minder tijd in beslag nemen dan de maximaal gewenste tijdsduur van 5 minuten. De mogelijkheid tot een snelle verplaatsing van de onderdelen is ook een sterk punt, omdat de tafels vlot verplaatsbaar zijn.

## 5 Evaluatiefase

In de evaluatiefase wordt duidelijk aan de hand van meetresultaten, of het kanon voldoet aan de hoofdeisen van het project. De hoofdeisen van dit project zijn een tolerantie van 2 % op de projectielsnelheid en projectielsnelheden van 60 tot 120 m/s.

### 5.1 Voorbereiding

Het testen van het kanon houdt in, dat er een projectiel mee wordt afgeschoten. Voordat er effectief mee kan geschoten worden, moeten er een aantal zaken gecontroleerd worden.

Eerst werd de bediening gecontroleerd. De verschillende knoppen werden ingedrukt en er werd nagegaan of de drie kleppen hierop reageren. Ook werd er gecontroleerd of de overeenkomstige signalisatielampen branden. De bediening werkte probleemloos.

Er werd een extern drukvat aangesloten om het drukvat van het kanon te vullen met perslucht. Door het bedienen van de laadknop (load) werd via de inlaatklep het drukvat gevuld met een kleine hoeveelheid perslucht. Hierna werd de vuurknop (fire) bediend. Er ontstond een knal, wat betekende dat het kanon lucht blaast door de loop. Tenslotte werd de uitlaatklep getest door het bedienen van de ontlaadknop (exhaust). De resterende hoeveelheid perslucht in het drukvat werd verwijderd met deze actie. Het proces van laden, vuren en ontladen werd vijf keer herhaald, zodat er de zekerheid ontstond, dat het kanon zonder problemen perslucht afschiet.

### 5.2 Schieting

Na het afronden van de voorbereiding, waarbij de bediening, de kleppen en het schieten van perslucht van het kanon werden uitgetest, konden er projectielen afgeschoten worden met het kanon.

Er werd een dopplerradar geplaatst om de snelheid van het projectiel te meten en er werd geschoten op een projectielopvanger. De eerste keer werd er geschoten met een druk van 2,5 MPa. Het resultaat was een goede schieting, waarbij het projectiel de loop verliet en eindigde in de projectielopvanger. Dit gaf de goedkeuring tot de eigenlijke schietingen.

### 5.3 Meetresultaten

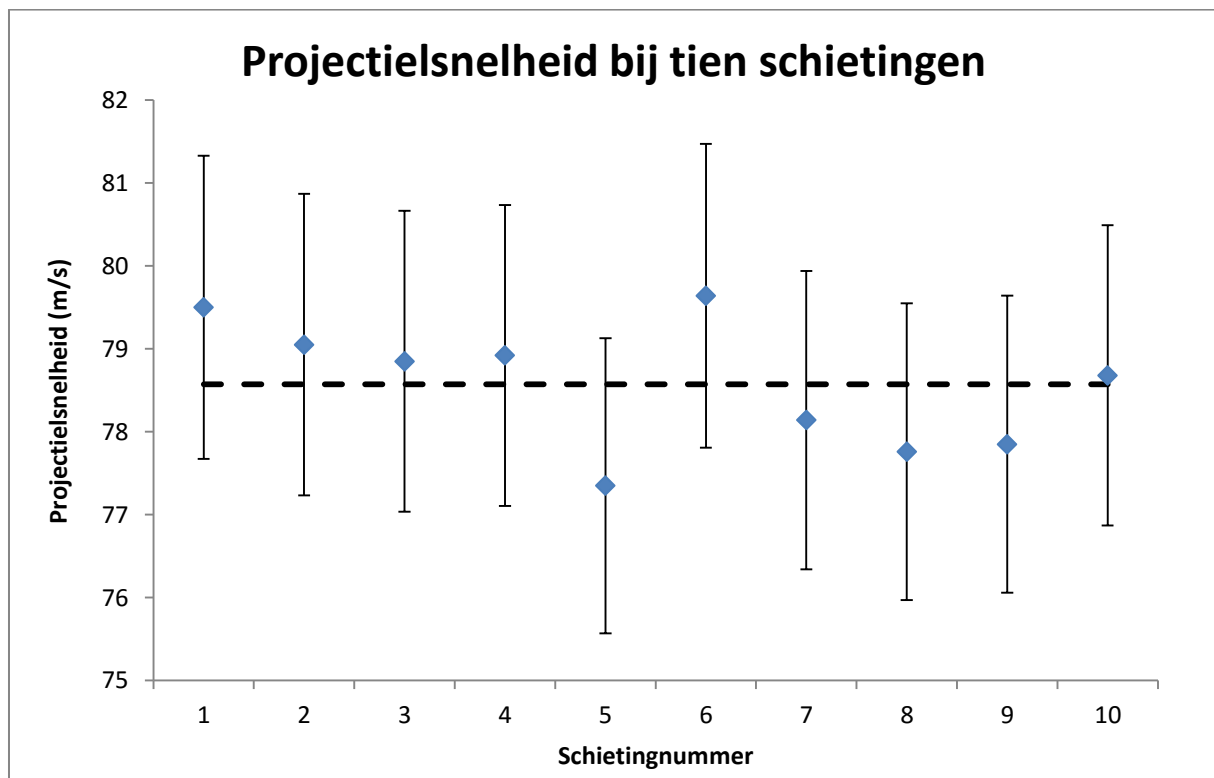
Er werden tien schietingen uitgevoerd met een druk van ongeveer 3,125 MPa. Deze waarde is maar nauwkeurig tot op 1 MPa, vanwege de analoge aflezing van de manometer. Van 0 MPa tot 5 MPa bezit de manometer vier onderverdeling. Eén streepje komt dan overeen met 1,25 MPa. Bij de eerste tien schietingen werden er dus telkens tweeënhalve streepjes genomen op de analoge manometer. Bij de schietingen werd de projectielsnelheid gemeten en volgden deze meetresultaten:

Tabel 10: Resultaten schieting met een druk van 3,125 MPa

Schietingnummer	Druk (MPa)	Projectielsnelheid (m/s)
1	3,125	79,50
2	3,125	79,05
3	3,125	78,85
4	3,125	78,92
5	3,125	77,35
6	3,125	79,64
7	3,125	78,14
8	3,125	77,76
9	3,125	77,85
10	3,125	78,68

De meetresultaten worden weergegeven in volgende grafiek:

Grafiek 4: De projectielsnelheid bij tien schietingen



De gemiddelde projectielsnelheid bij deze schietingen bedraagt 78,6 m/s en de standaardafwijking bedraagt 2,3 volgens onderstaande berekeningen:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 78,57$$

$$3 * s = 3 * \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 3 * \sqrt{\frac{1}{10-1} \sum_{i=1}^{10} (78,574 - \bar{x})^2} = 2,30$$

De projectielsnelheid is volgens deze schietingen tot op 2,9% nauwkeurig op basis van volgende berekening:

$$\text{standaardafwijking} / \text{gemiddelde} = 0,029 \rightarrow 2,9 \%$$

Er dient wel vermeld te worden, dat bij de schietingen is gebruik gemaakt van een manometer met een analoge aflezing, nauwkeurige tot op 1 MPa. Wanneer er gebruik gemaakt zou worden van de display met digitale aflezing, zou de waarde van de druk tot op 0,0001 MPa (100 Pa) instelbaar zijn en zal dit resulteren in minder spreiding op de snelheid. Een ander aspect die een factor speelt is de tijdstip van de schietingen. De schietingen werden door tijdsgebrek vlak na elkaar uitgevoerd. Wanneer er geen voldoende tijd wordt gelaten tussen schietingen, heeft het materiaal niet de tijd zich terug naar zijn oorspronkelijke vorm te vervormen en zal dit invloed hebben op de resultaten van de schieting.

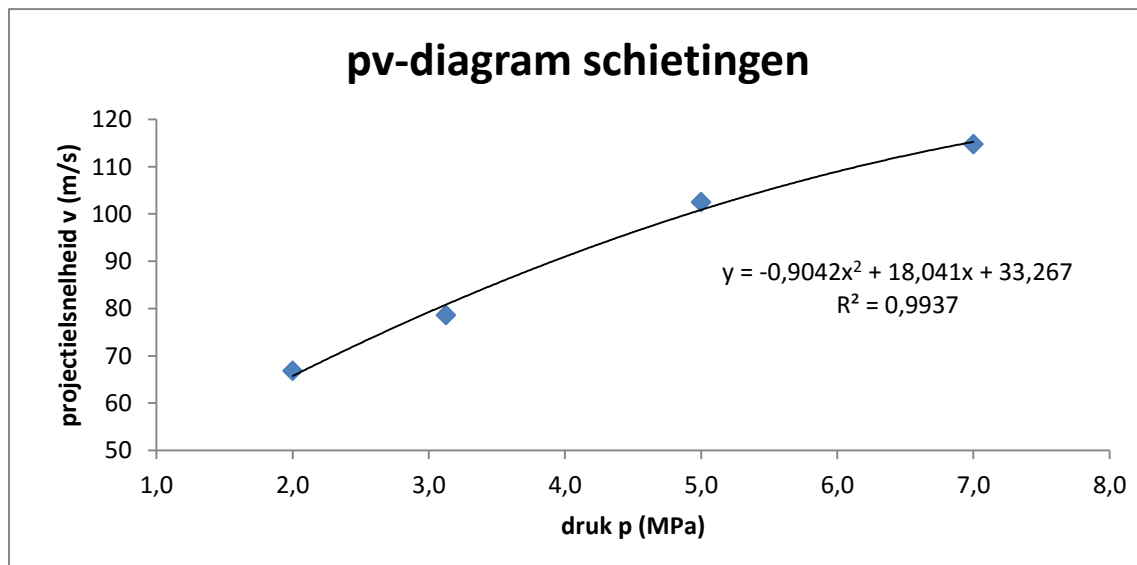
Vervolgens werden er enkele schietingen uitgevoerd bij verschillende drukken en de meetresultaten werden opgenomen in een tabel. Het gemiddelde van de tien schietingen bij een druk van 3,125 MPa werd ook opgenomen in de tabel.

Tabel 11: Schietingresultaten bij verschillende drukken

Schietingnummer	Druk (MPa)	Projectielsnelheid (m/s)
1	2	66,82
2 (gemiddelde tien schietingen)	3,125	78,574
3	5	102,5
4	7	114,78

Met deze meetresultaten kan er volgend pv-diagram opgesteld worden:

Grafiek 5: pv-diagram op basis van schietingen



Het pv-diagram geeft een parabolisch verloop weer tussen de projectielsnelheid en de druk.





## 6 Besluit

Bij het afvuren van projectielen met een kruitkanon zijn er grote verschillen tussen de projectielsnelheden. In extreme gevallen verschilt de projectielsnelheid bij een kanon met kruit 8-10 % t.o.v. de richtsnelheid. Deze masterproef onderzocht of het mogelijk is deze snelheidsverschillen van het projectiel te verminderen door de projectielen af te vuren met een luchtdrukkanon.

Samen met de opdrachtgever, namelijk het Departement wapensystemen en ballistiek (ABAL) van de Koninklijke Militaire School (KMS) werd het eisenpakket (zie tabel 2) opgesteld.

Er werden vier fases doorlopen bij het realiseren van dit project. Er werd gestart met een definitiefase, zodat de werking van een kanon en zijn onderdelen duidelijk werden. Vervolgens volgde een ontwerpfase, waarbij de nodige berekeningen werden gedaan en het kanon werd getekend in Autodesk Inventor. Hierna werden er onderdelen besteld en werd het ontwerp gebouwd. Dit was de uitvoerfase. Ten slotte in de evaluatiefase werd het ontwerp getest door projectielen ermee af te vuren.

Na schietingen met het luchtdrukkanon werd een nauwkeurigheid van  $\pm 2,9$  % op de projectielsnelheid bekomen. Dit is bijna de gewenste 2 %, wat heel succesvol is, mede doordat de druk met een analoge manometer werd afgelezen. Deze heeft een nauwkeurigheid van 1 MPa. Met een digitale drukmeter is de druk tot op 0,0001 MPa nauwkeurig instelbaar. De projectielsnelheid i.f.v. de druk heeft een parabolisch verloop. De maximaal behaalde snelheid bedraagt 114,78 m/s. Dit is dicht bij de gewenste snelheid van 120 m/s. Hieraan moet wel toegevoegd worden, dat er gebruik gemaakt werd van een vervangend drukvat. Wanneer het ontworpen drukvat wordt gebruikt, zal deze snelheid waarschijnlijk groter zijn dan 120 m/s, omdat de opening van het ontworpen drukvat 2 groter is. Bijgevolg is de doorsnede dan meer dan 6 maal groter. Er werd ook rekening gehouden met een maximum gewenste druk van 7,0 MPa binnen het systeem. Verder werd er ook nog voldaan aan alle andere eisen. Een dempingssysteem van de terugstootkracht en een aflezing van de snelheid met LabVIEW konden niet gerealiseerd worden wegens de vertragingen op de bestellingen en de leveringen van de ingebouwde onderdelen.

De resultaten tonen aan dat het ontwerp zeer geslaagd is, mede ook door de korte tijdspanne voor het realiseren ervan. Er is echter nog verbetering mogelijk. De snelheid kan nauwkeuriger worden, door het voorzien van een nauwkeurige digitale display voor de drukaflezing. De waarde van de projectielsnelheid kan verhoogd worden door het installeren van het nieuw drukvat. Verder kunnen een dempingssysteem en de aflezing van de snelheid met LabVIEW gerealiseerd worden.



## 7 Literatuurlijst

- [1] (2010) Koninklijke Militaire School. [Online]. <http://www.rma.ac.be/nl/>
- [2] (2010) Koninklijke Militaire School. [Online]. <http://www.rma.ac.be/abal/nl/>
- [3] Gunter Dyckmans. (2007) Fundamentals of Ballistics. [Online]. <http://e-ballistics.com/>
- [4] (2009) InfoNu. [Online]. <http://wetenschap.infonu.nl/natuurkunde/30342-eindballistiek-raken-van-het-doel-met-kogels.html>
- [5] (2009) Lucky gunner. [Online]. <http://www.luckygunner.com/labs/self-defense-ammo-ballistic-tests/>
- [6] Gunter Dyckmans. (2010) Fundamentals of Ballistics. e-book.
- [7] Cpl. D.A. Haynes. (1988) Dodmedia. [Online]. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AK-47\\_type\\_II\\_Part\\_DM-ST-89-01131.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AK-47_type_II_Part_DM-ST-89-01131.jpg)
- [8] <http://assets3.thrillist.com/>. [Online]. [http://assets3.thrillist.com/v1/image/1441690/size/tmg-slideshow\\_xl](http://assets3.thrillist.com/v1/image/1441690/size/tmg-slideshow_xl)
- [9] Onbekend. (1942) Australian War Memorial. [Online]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ordnance\\_QF\\_25-pounder#/media/File:2-8\\_Field\\_Regt.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Ordnance_QF_25-pounder#/media/File:2-8_Field_Regt.jpg)
- [10] USMC Lance Corporal Samantha L. Jones. (2004) United States Marine Corps. [Online]. [https://en.wikipedia.org/wiki/File:4-14\\_Marines\\_in\\_Fallujah.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:4-14_Marines_in_Fallujah.jpg)
- [11] Onbekend. (2011) Historienet. [Online]. <http://historienet.no/teknikk/vapen/hva-gjorde-tyskernes-88-mm-sa-spesiell>
- [12] Sabine Pearlman. (2014) Pearlman Photography. [Online]. <http://www.pearlmanphotography.com/ammo/>
- [13] International Union of Railways. (2002) UIC Code 651 OR.
- [14] Coastal flange. (2016) Coastal flange. [Online]. <http://catalog.coastalflange.com/viewitems/ansi-b16-5-class-600-flanges/ansi-b16-5-class-600-welding-neck-flanges?>
- [15] Eurotron Instruments NL. (2015) Eurotron Instruments NL. [Online]. <http://www.eurotronbenelux.nl/brands/wika/a-10-compacte-druksensor.html>
- [16] Clark Cooper. (2014) Clark Cooper. [Online]. <http://clarkcooper.com/hpv/EH30.html>
- [17] Clark Cooper. (2014) Clark Cooper. [Online]. <http://clarkcooper.com/hpv/EH70.html>

- [18] Global Supply line. (2016) Global Supply line. [Online]. <http://globalsupplyline.com.au/flange-table-chart-size-as-ansi/>
- [19] Thierry Vandeveld, "BIRD IMPACT ON AIRFRAMES: A PYROTECHNICAL PROJECTILE LAUNCHER," *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BALLISTICS*, 2007.
- [20] Dieter Muhs, Dieter Jannasch, Joachim Vossiek Herbert Wittel, *Roloff/Matek Machineonderdelen.*: Academic Service, 2013.
- [21] MCB Boek NL. MCB Boek NL. [Online]. [http://www.mcbboek.nl/MCB\\_h14/Eenvoudige\\_methode\\_voor\\_de\\_berekening\\_van\\_draagvermogens\\_van.htm](http://www.mcbboek.nl/MCB_h14/Eenvoudige_methode_voor_de_berekening_van_draagvermogens_van.htm)
- [22] Tabellenbuch Metall, *Tabellenbuch Metall.*: Europa Lehrmittel, 2011.
- [23] Filipino Oil and Gas. Filipino Oil and Gas. [Online]. <http://filipinooilandgas.com/wp-content/uploads/2015/08/image-5.png>

## 8 Bijlagen

## Appendix C - Method to test the front window of the cab for sufficient resistance to projectiles

The front window shall be bombarded with a cylindrical projectile with a hemispheric tip, the whole weighing 1 kg and constructed as shown in the sketch. If on impact, the projectile sustains permanent damage, it must be replaced.

For the test, the front window shall be fixed in a frame the construction of which shall be identical to that of the frame mounted on the vehicle.

The temperature of the window during the tests must be between 15°C and 35°C. The direction of impact shall be perpendicular to the window (alternative: the window may also be set up at the same angle as it is to be mounted on the vehicle).

The projectile's impact velocity shall be determined by:

$$V_p = V_{max} + 160 \text{ km/h}$$

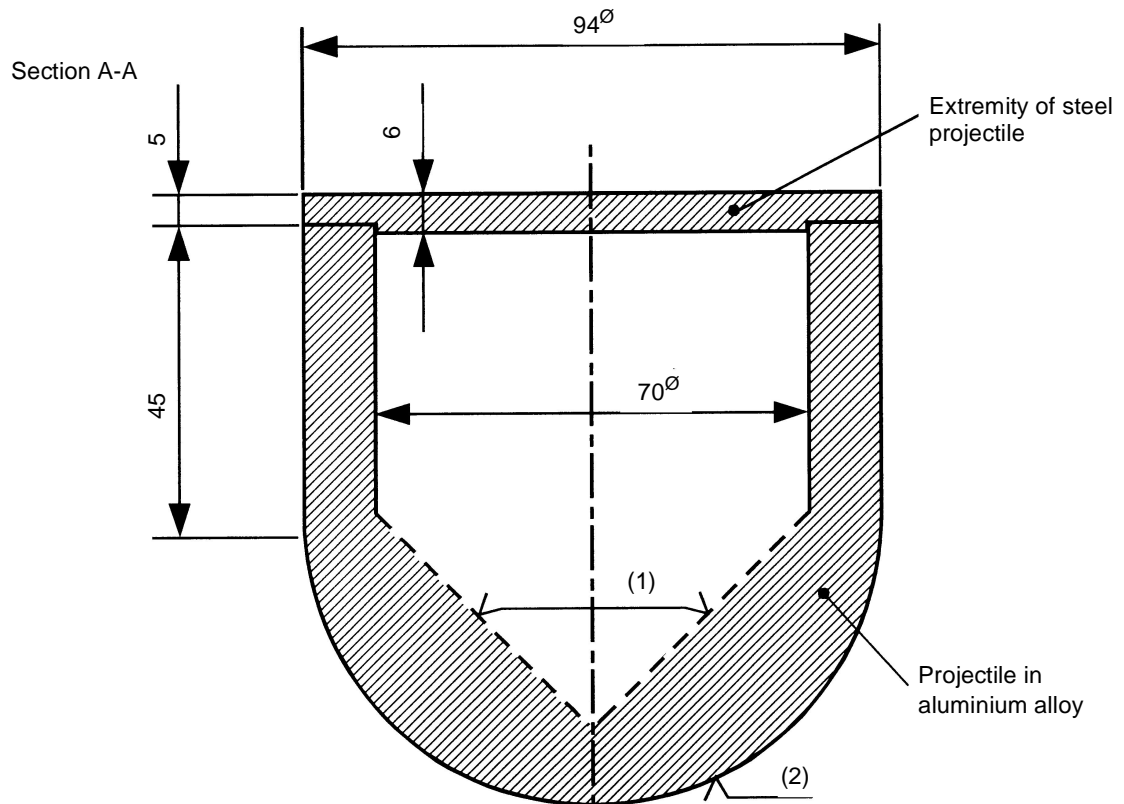
$V_p$  = Velocity of the projectile in km/h on impact

$V_{max}$  = Max velocity of the tractive unit or driving trailer in km/h

The test result shall be deemed satisfactory if:

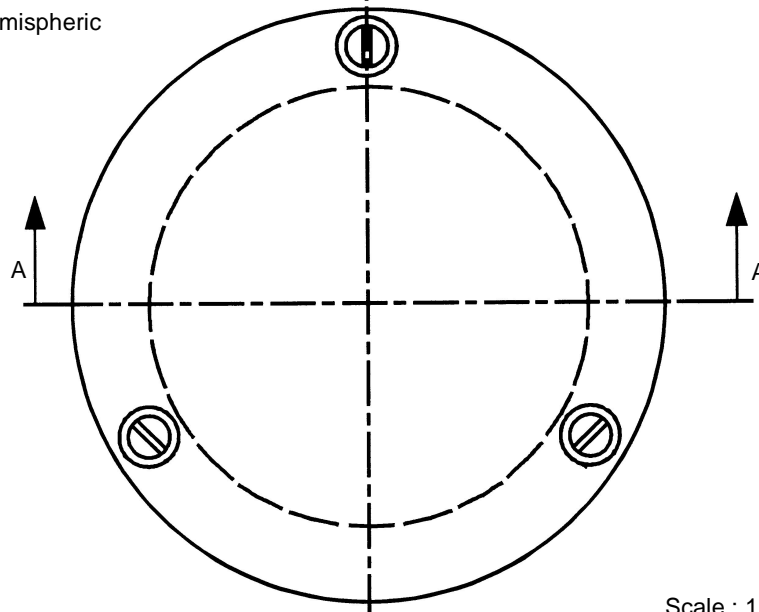
- the projectile does not break through the front window;
- the window remains in its frame.

Diagram of projectile (mass: 1000 g)



(1) Material may be removed for adjustment purposes

(2) Milled surface of hemispheric tip (1 mm)



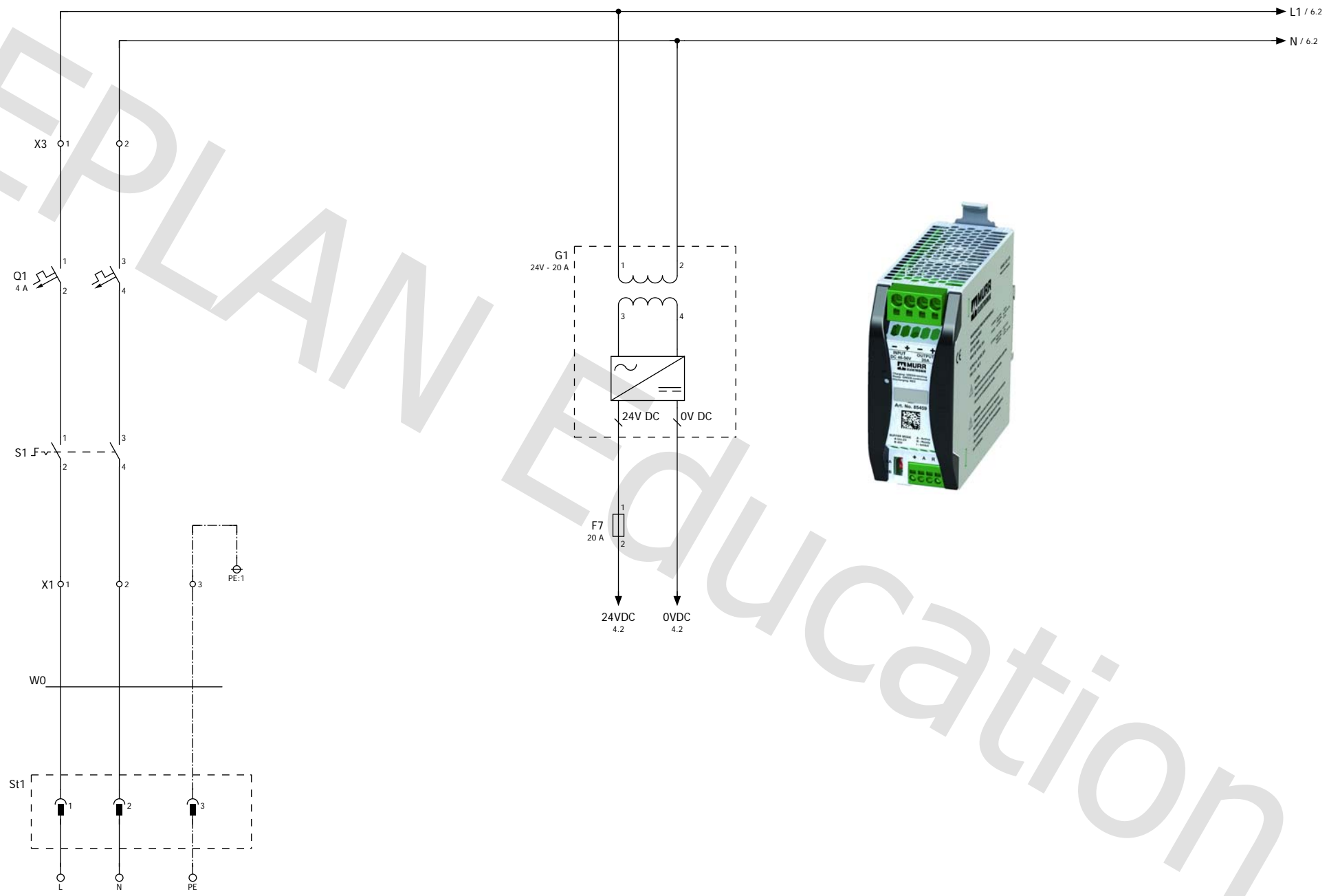
Scale : 1 : 1





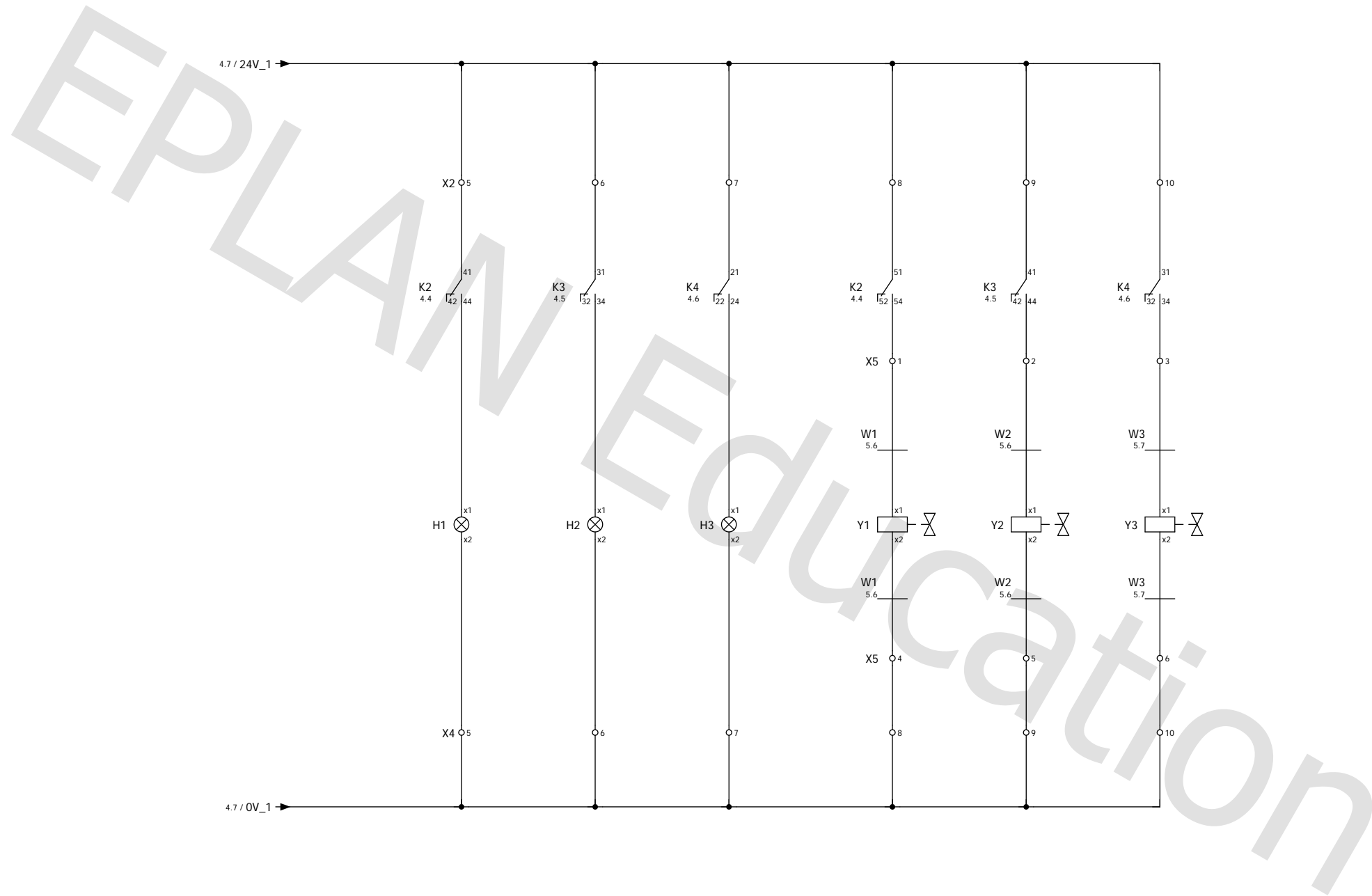
EPLAN

Education



			Datum	13/06/2016	KMS	Koninklijke Militaire School Dep. ABAL	Aankomst/ verdeling voeding	=	
			Bew.	ROBIN				+	
			Gecontr.		Luchtdrukanon 70 bar				Blad 3
Wijziging	Datum	Naam	Oorspr		Vervanging van	Vervangen door		Num_tpl001	Blad 27





				Datum	11/06/2016	KMS	Koninklijke Militaire School Dep. ABAL		Aansturing			=
				Bew.	ROBIN	Luchtdrukanon 70 bar						+
				Gecontr.		Vervanging van	Vervangen door			Num_tpl001		Blad
Wijziging	Datum	Naam	Oorspr									Blad
												27



# N30U DIGITAL PANEL METER

## FEATURES:

- three-colour display
- LPConfig Program
- MOD BUS
- RTC
- 21 points charact.
- Password protection

**IP65**

## INPUTS:

- 
- 
- 10..10 V
- 20..20 mA
- 60 mV

## OUTPUTS:

- 0..20 mA
- 0..10 V
- 
- 
- 2x
- 2x

**RS 485**

## GALVANIC ISOLATION:

- 
- 
- Supply
- RS 485**

Export department:  
+48 68 45 75 302 / 321 / 276 / 386 / 233

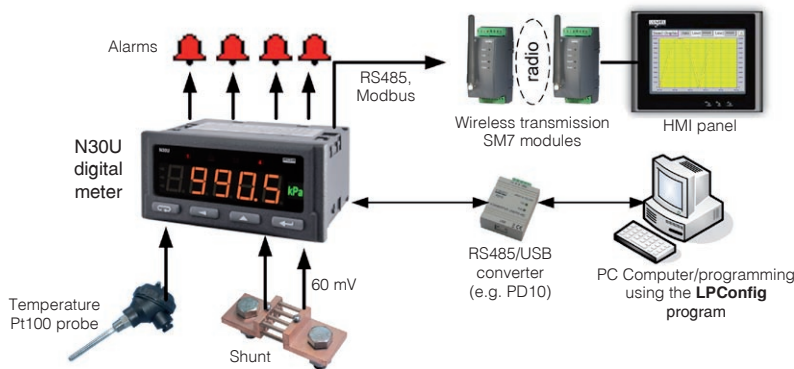
Fax: +48 68 32 54 091  
e-mail: export@lumel.com.pl

LUMEL S.A.  
ul. Słubicka 1  
65-127 Zielona Góra  
POLAND  
[WWW.LUMEL.COM.PL](http://WWW.LUMEL.COM.PL)



- Measurement: temperature, resistance, standard signals.
- 3-colour display (14 mm high), programmable in 3 ranges of the measured value.
- Meter programming from keyboard or through the RS-485 interface by means of the free LPConfig program.
- 4 alarm outputs with signalling on LED diodes, working in 6 different modes.
- Conversion of any measured value into an analog signal 0/4...20 mA or 0...10 V.
- Storage of minimal and maximal values for all measured quantities.
- Supply of object transducers (ver. N30U-1XXXXXX).
- 21-point individual characteristic for the measured value.

## EXAMPLE OF APPLICATION



Measurement and visualization of analog standard signals: Pt100, TC, 20 mA, 60 mV, 10 V. Measured parameters are transmitted to the HMI operator panel through radio modules.

## INPUT

Input kind	Maximal measuring range	Class	Additional error
Pt100	-205...855°C (-200...850°C)	0.1	- due to automatic compensation of the reference junction temperature $\leq 1^\circ\text{C}$
Pt500			
Pt1000			
400 $\Omega$	0...410 $\Omega$ (0...400 $\Omega$ )		- due to automatic compensation of the cable resistance for thermoresistors $\leq 0,5^\circ\text{C}$
4000 $\Omega$	0...4010 $\Omega$ (0...4000 $\Omega$ )		
Thermocouple of J type	-200...1200 °C (-100...1200 °C)		- due to automatic compensation of the cables for resistance measurement $\leq 0,2\Omega$
Thermocouple of K type	-200...1370 °C (-100...1370 °C)		
Thermocouple of N type	-200...1300 °C (-100...1300 °C)		
Thermocouple of E type	-200...1000 °C (-100...1000 °C)		
Thermocouple of R type	-50...1768 °C (-50...1760 °C)		
Thermocouple of S type	-50...1768 °C (-50...1760 °C)		
Voltage input 0...10 V	-13...13 V (-10...10 V)	- from temperature changes 100 % of the class / 10 K	
Current input	-24...24 mA (-20...20 mA)		
Voltage input	-10...63 mV (0...60 mV)		
Current time	00.00...23.59	0.5 sec./ 24h	

## OUTPUTS

Output kind	Properties	Remarks
Relay output	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 x relays, voltageless NOC contacts load-carrying capacity 250 V a.c./ 0.5 A a.c.</li> <li>• 2 x relays, voltageless switched contacts load-carrying capacity 250 V a.c./ 0.5 A a.c.</li> </ul>	
Analog output	<ul style="list-style-type: none"> <li>• current programmable 0/4...20mA, load resistance <math>\leq 500 \Omega</math></li> <li>• voltage programmable 0...10 V load resistance <math>\geq 500 \Omega</math></li> </ul>	Error of analog output: <b>0.2% of the set range</b> Additional error from temperature changes: <b>50% of the class/10K</b>
OC output	• typu OC, passive npn, 30 V d.c./30 mA	Voltageless output
Auxiliary supply	• 24 V d.c./ 30mA	only for meter version: N30U-1XXXXXX

## DIGITAL INTERFACE

Interface type	transmission protocol	modes	baud rates
RS-485	MODBUS RTU	8N2, 8E1, 8O1, 8N1	4.8, 9.6, 19.2, 38.4, 57.6, 115.2 kbit/s

## EXTERNAL FEATURES

Readout field	5 digit LED display - indication range -19999..99999 digit height: 14 mm	three-color display (colour changes depending on displayed value): red, green, orange
Weight	< 0.2 kg	
Dimensions	96 × 48 × 93 mm	Panel cut-out: 92 <sup>+0,6</sup> × 45 <sup>+0,6</sup> mm
Protection grade (acc. to EN 60529)	from frontal side: IP65	from rear side: IP 10

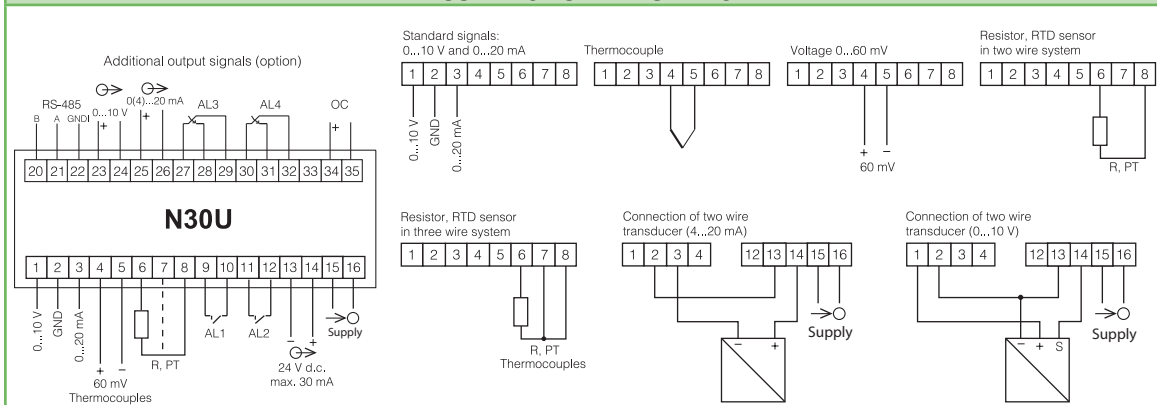
## RATED OPERATING CONDITIONS

Supply voltage	85...253 V a.c. (40...400 Hz) or d.c., 20...40 V a.c. (40...400 Hz), 20...60 V d.c.	power consumption < 6 VA
Temperature	ambient: -25...+55°C	storage: -30...+70°C
Relative humidity	25...95%	condensation inadmissible
Operating position	any	
External magnetic field	0...400 A/m	

## SAFETY AND COMPATIBILITY REQUIREMENTS

Electromagnetic compatibility	Noise immunity	acc. to EN 61000-6-2
	Noise emissions	acc. to EN 61000-6-4
Isolation between circuits	basic	acc. to EN 61010-1
Pollution grade	2	
Installation category	III	
Maximal phase-to-earth operating voltage	for the supply circuit: 300 V for remaining circuits: 50 V	
Altitude above sea level	< 2000 m	

## CONNECTION DIAGRAMS



## SEE ALSO:



Free LPConfig software for easy programming of LUMEL's products. Available on our website



KD7 recorder with MODBUS master protocol for recording data measured by N30U.



Shunts for measurement DC current from 5A up to 15 kA. For more details see our ANALOG METERS catalogue.

## ORDERING

TABLE 1. ORDERING CODES:

	N30U -	X	X	XX	XX	X	X
<b>Supply:</b>							
85...253 V a.c./d.c.		1					
20...40 V a.c., 20...60 V d.c.		2					
<b>Additional outputs:</b>							
lack		0					
OC output, RS-485, analog outputs		1					
OC output, RS-485, analog outputs switched-over relay outputs		2					
<b>Unit:</b>							
unit code acc. to the table 2			XX				
<b>Version:</b>							
standard			00				
custom-made*			XX				
<b>Language:</b>							
Polish						P	
English						E	
other*						X	
<b>Acceptance tests:</b>							
without extra requirements						0	
with an extra quality inspection certificate						1	
acc. to customer's request*						X	

**Order example:** The code **N30U - 1 0 26 00 E 0** means  
**N30U** - programmable N30U digital panel meter  
**1** - supply: 85...253 V a.c./d.c.  
**0** - lack of additional outputs  
**26** - unit "°C" acc. to tabel 2  
**00** - standard option  
**E** - English language  
**0** - without extra requirements

TABLE 2. CODES OF HIGHLIGHTED UNIT:

Code	Unit	Code	Unit	Code	Unit
00	lack of unit	20	kVAh	40	szt.
01	V	21	MVAh	41	imp
02	A	22	Hz	42	rps
03	mV	23	kHz	43	m/s
04	kV	24	Ω	44	l/s
05	mA	25	kΩ	45	obroty/min
06	kA	26	°C	46	rpm
07	W	27	°F	47	mm/min
08	kW	28	K	48	m/min
09	MW	29	%	49	l/min
10	var	30	%RH	50	m³/min
11	kvar	31	pH	51	pcs/h
12	Mvar	32	kg	52	m/h
13	VA	33	bar	53	km/h
14	kVA	34	m	54	m³/h
15	MVA	35	l	55	kg/h
16	kWh	36	s	56	l/h
17	MWh	37	h		
18	kvarh	38	m³	XX	on order*
19	Mvarh	39	obroty		

\* - after agreeing with the manufacturer

## OUR OFFER



[www.lumel.com.pl](http://www.lumel.com.pl)

For more information about LUMEL's products please visit our website: [www.lumel.com.pl](http://www.lumel.com.pl)

**Export department:**  
+48 68 45 75 302 / 321 / 276 / 386 / 233

**Fax:** +48 68 32 54 091  
**e-mail:** [export@lumel.com.pl](mailto:export@lumel.com.pl)

LUMEL S.A.  
ul. Słubicka 1  
65-127 Zielona Góra  
POLAND  
[WWW.LUMEL.COM.PL](http://WWW.LUMEL.COM.PL)

## Pressure transmitter for general industrial applications Model A-10

WIKA Data Sheet PE 81.60



### Applications

- Mechanical engineering
- Machine tools
- Control and feedback control systems
- Hydraulics / Pneumatics
- Pumps/ Compressors

### Special Features

- Pressure ranges: from 0 ... 1 bar up to 0 ... 600 bar
- Non-linearity: 0.25 % or 0.5 %
- Signal output: 4 ... 20 mA, 0 ... 10 V, 0 ... 5 V and other
- Electrical connection: DIN 175301-803 A and C, M12x1, Flying leads 2m
- Pressure connection: G1/4 DIN 3852-E, 1/4 NPT and others



Pressure transmitter A-10

## Description

### Simple - reliable – competitive

The WIKA A-10 can be used for a multitude of functions across many different applications. Exceptionally simple installation, set-up and operation with an excellent price/performance ratio set this highly-reliable product apart.

# Specifications

# Model A-10

Pressure ranges	bar	1	1.6	2,5	4	6	10	16	25
Over pressure safety	bar	2	3.2	5	8	12	20	32	50
Burst pressure	bar	5	10	10	17	34	34	100	100
Pressure ranges	bar	40	60	100	160	250	400	600	
Over pressure safety	bar	80	120	200	320	500	800	1200	
Burst pressure	bar	400	550	800	1000	1200	1700	2400	
MPa and kg/cm <sup>2</sup> are available									
{Absolute pressure: 0 ... 1 bar up to 0 ... 25 bar; compound ranges: -1 ... 0 bar up to -1 ... 24 bar}									
Pressure ranges	psi	15	25	30	50	100	160	200	300
Over pressure safety	psi	30	60	60	100	200	290	400	600
Burst pressure	psi	75	150	150	250	500	500	1500	1500
Pressure ranges	psi	500	1000	1500	2000	3000	5000	10000	
Over pressure safety	psi	1000	1740	2900	4000	6000	10000	17400	
Burst pressure	psi	2500	7975	11600	14500	17400	24650	34800	
{Absolute pressure: 0 ... 15 psi up to 0 ... 300 psi;									
compound ranges: -30 inHg ... 0 psi up to -30 inHg ... 300 psi}									
Vacuum resistance		As of 0 ... 10 bar							
Fatigue life		10 Mio. max. load cycles							
Materials									
■ Wetted parts									
» Pressure Connection		316 L							
» Pressure sensor		316 L (as of 0 ... 10 bar rel 13-8 PH)							
■ Internal transmission fluid		Silicone oil (only with pressure ranges < 0 ... 10 bar and ≤ 0 ... 25 bar abs)							
■ Case		316 L							
Power supply UB	U+ in VDC	8 ... 30 {8 ... 36 <sup>1</sup> }							
maximum ohmic load R <sub>A</sub>		14 ... 30 {14 ... 36} with signal output 0 ... 10 V							
		5 ± 10 % with signal output 0.5 ... 4.5 V ratiometric							
		<sup>1</sup> ) not with non-linearity 0.25 % BFSL and 4 ... 20 mA							
Signal output and	R <sub>A</sub> in Ohm	4 ... 20 mA, 2-wire				R <sub>A</sub> ≤ (U <sub>+</sub> - 8 V) / 0.02 A			
maximum ohmic load R <sub>A</sub>		0 ... 10 V, 3-wire				R <sub>A</sub> > 10 k			
		0 ... 5 V, 3-wire				R <sub>A</sub> > 5 k			
		1 ... 5 V, 3-wire				R <sub>A</sub> > 5 k			
		0.5 ... 4.5 V, 3-wire				R <sub>A</sub> > 4.5 k			
		0.5 ... 4.5 V, ratiometric				R <sub>A</sub> > 4.5 k {other signal outputs on request}			
Setting time	ms	< 4							
Current consumption	mA	Signal current (max. 25) for current output							
		Max. 8 for voltage output signal							
Insulation voltage	VDC	500 <sup>2)</sup>							
<sup>2)</sup> For power supply, use a circuit with energy limitation (EN/UL/IEC 61010-1, section 9.3) with the following maximum values for the current: bei U <sub>+</sub> = 30 V (DC): 5 A. Provide a separate switch for the external power supply.									
Alternative for North America: The connection may also be made to „Class 2 Circuits“ or „Class 2 Power Units“ according to CEC (Canadian Electrical Code) or NEC (National Electrical Code).									
Non-linearity	% of span	≤ ± 0.25				(BFSL) according to IEC 61298-2			
		≤ ± 0.5				(BFSL) according to IEC 61298-2			
Adjusted in vertical mounting position with lower pressure connection									
Accuracy <sup>3)</sup>	% of span	≤ ± 0.5				(with non-linearity 0.25 %)			
		≤ ± 0.6				(with non-linearity 0.25 % and with signal output 0 ... 5 V)			
		≤ ± 1.0				(with non-linearity 0.5 %)			
<sup>3)</sup> Including non-linearity, hysteresis, zero point and full scale error (corresponds to error of measurement per IEC 61298-2)									
Zero offset	% of span	≤ 0.15 typ., ≤ 0.4 max.				(with non-linearity 0.25 %)			
		≤ 0.5 typ., ≤ 0.8 max.				(with non-linearity 0.5 %)			
Hysteresis	% of span	≤ 0.16							
Non-repeatability	% of span	≤ 0.1							
Long-term drift	% of span	≤ 0.1 according to IEC 61298-2							
Signal noise	% of span	≤ 0.3							



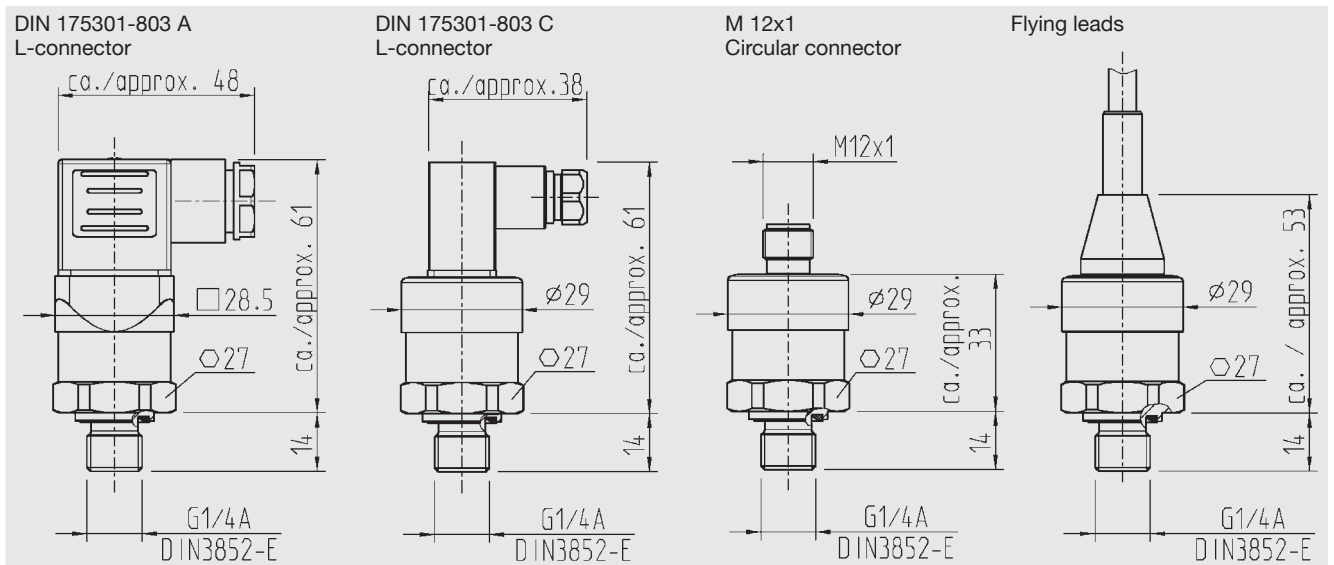
# Specifications

# Model A-10

Permissible temperature of			
■ Medium		0 ... +80 °C {-30 ... +100 °C}	+32 ... +176 °F {-22 ... +212 °F}
■ Ambience		0 ... +80 °C {-30 ... +100 °C}	+32 ... +176 °F {-22 ... +212 °F}
■ Storage		-20 ... +80 °C {-30 ... +100 °C}	-4 ... +176 °F {-22 ... +212 °F}
Rated temperature range		0 ... +80 °C	+32 ... +176 °F
Temperature error within rated temperature range	% of span	≤ 1.0 typ., ≤ 2.5 max.	
Approvals		UL, CSA, GOST	
RoHS-conformity		Yes	
CE-conformity			
■ Pressure equipment directive		97/23/EC	
■ EMC directive		2004/108/EEC, EN 61 326 Emission (Group 1, Class B) and Immunity (industrial locations)	
Shock resistance	g	500 according to IEC 60068-2-27	(mechanical shock)
Vibration resistance	g	10 according to IEC 60068-2-6	(vibration under resonance) {20 g on request}
Wiring protection			
■ Overvoltage protection	VDC	32; 36 with 4 ... 20 mA	
■ Short-circuit proofness		S+ towards U-	
■ Reverse polarity protection		U+ towards U-	
Reference conditions		According to IEC 61298-1	
■ Relative humidity	%	45 ... 75	
Weight	g	Approx. 80	

{ } Items in curved brackets are optional extras for additional price.

## Dimensions in mm

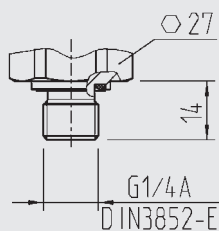


For tapped holes and welding sockets please see Technical Information IN 00.14 for download at [www.wika.de](http://www.wika.de)

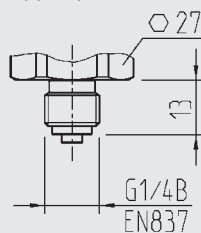
## Pressure connections

Pressure port (0.3 or 0.6 mm) and extended pressure port on request

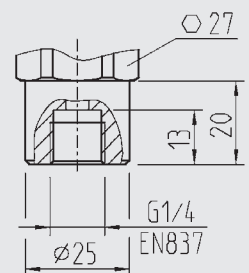
G 1/4  
DIN 3852-E  
with sealing NBR {FKM}  
Over pressure safety max. 600 bar



G 1/4  
EN 837  
with sealing  
Copper {Stainless steel}

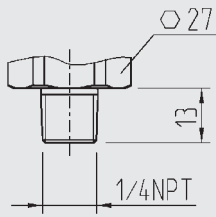


G 1/4 female  
EN 837  
with sealing  
Copper {Stainless steel}

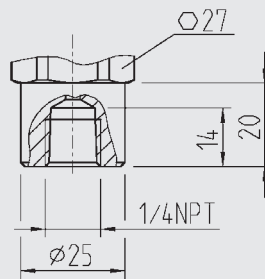


## Pressure connections

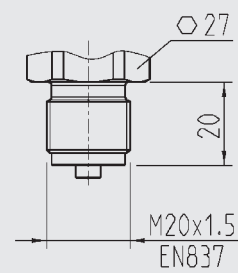
1/4 NPT



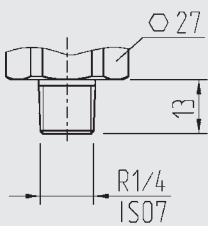
1/4 NPT female



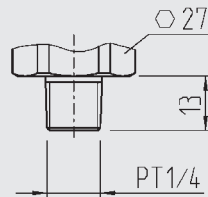
M 20 x 1,5  
with sealing  
Copper {Stainless steel}



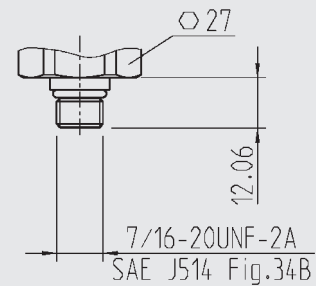
R 1/4 ISO 7



PT 1/4



7/16-20 UNF  
with Boss O-ring FKM  
max. permitted temperature  
-10 ... +100 °C



## Electrical connections

	L-connector DIN 175301-803 A	L-connector DIN 175301-803 A	Circular connector M12x1, 4-pin	Flying leads (PUR cable - unshielded)
2-wire	U+ = 1   U- = 2	U+ = 1   U- = 2	U+ = 1   U- = 3	U+ = brown   U- = blue
3-wire	U+ = 1   U- = 2   S+ = 3	U+ = 1   U- = 2   S+ = 3	U+ = 1   U- = 3   S+ = 4	U+ = brown   U- = blue   S+ = black
Wire gauge	up to max. 1.5 mm <sup>2</sup>	up to max. 0.75 mm <sup>2</sup>	-	3 x 0.34 mm <sup>2</sup>
Diameter of cable	6-8 mm	4.5-6 mm	-	4 mm
Ingress protection per IEC 60 529	IP 65	IP 65	IP 67	IP 67
The ingress protection classes specified only apply while the pressure transmitter is connected with female connectors that provide the corresponding ingress protection.				

Specifications and dimensions given in this leaflet represent the state of engineering at the time of printing. Modifications may take place and materials specified may be replaced by others without prior notice.



# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Ontwerp van elektropneumatisch gestuurde lanceerder, voor het afvuren van genormaliseerde projectielen met zeer nauwkeurige snelheid**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**

Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Erdem, Burak**

**Wanten, Robin**

Datum: **13/06/2016**