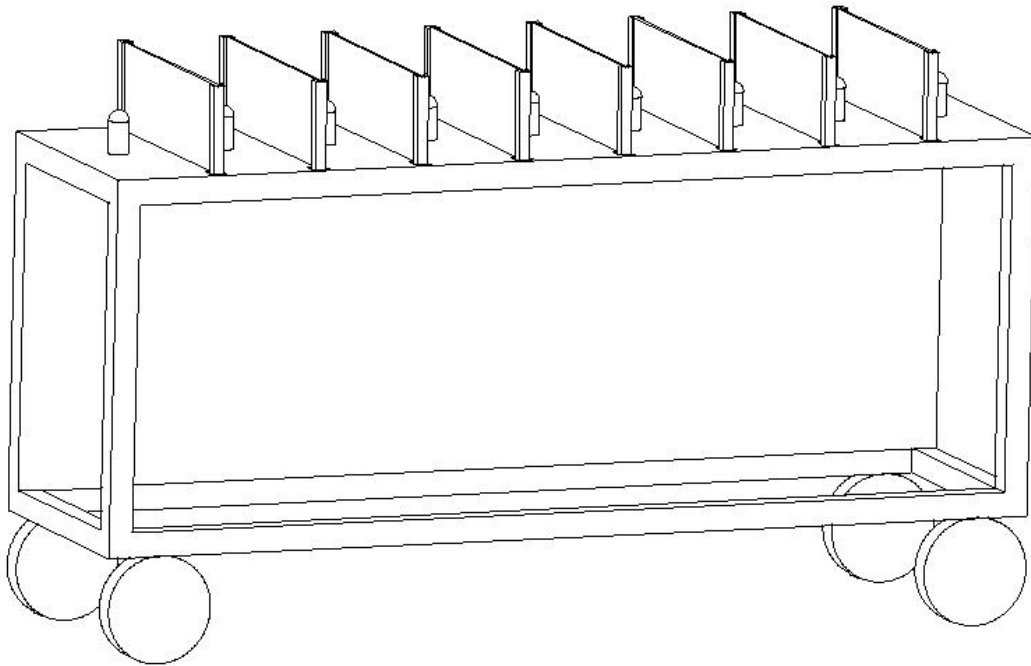




**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# Testutrustning för tryckkärl

## Högtryckstest med vätgas och kvävgas

Examensarbete inom Mekanik

EMMIE JOHANSSON & THI HELLQVIST



# FÖRORD

Ett examensarbete har utförts under vårterminen 2014, i samarbete med Autoliv AB i Vårgårda och institutionen Signaler och System på Chalmers tekniska högskola, Göteborg. Arbetet är en avslutande del av Chalmers högskoleingenjörsprogram Mekanik och omfattar 15 högskolepoäng.

Till att börja med vill vi tacka all personal på Autoliv och framförallt vår handledare Ingemar Sundberg för all hjälp under arbetets gång. Vi vill också tacka Ronnie Andersson, forskarassistent på Chalmers institution Kemiteknik, för hjälp med vissa delar av explosionsanalysen.

Slutligen tackar vi också vår handledare på Chalmers, Robert Svensson, för allt stöd och all hjälp.

Emmie Johansson och Thi Hellqvist, Göteborg 31/5 - 2014

## SAMMANFATTNING

Autoliv AB är ett säkerhetsteknologiskt, globalt företag som arbetar för ökad fordonssäkerhet. De har tagit fram ett eget koncept för gasgeneratorer i krockkuddar. Gasgeneratoren är uppbyggd av två tryckkärl, innehållande syrgas respektive vätgas, samt en blandningskammare. Vid uppblåsning av krockkudden blandas gaserna och bildar en brännbar blandning vilken sedan antänds. Vätgasen reagerar lätt med omgivande material vilket kan ge upphov till väteförspredning hos metaller. Autoliv vill kunna utsätta tryckkärlen för vätgas och därefter undersöka om dessa påverkats av denna förspredning.

Syftet med projektet är att konstruera en testutrustning för att senare CE-märkas för bruk på Autoliv i Vårgårda. Projektet behandlar konstruktionen och utformningen av utrustningens funktion men också dokumentationen bakom CE-märkningen. Detta sammanställs i form av en användarmanual vilken påbörjas, CAD-ritningar, kretsscheman, riskanalys vilken påbörjas samt övrig dokumentation för komponenter i utrustningen.

Utrustningen kan utföra två typer av tester, ett där tryckkärlen utsätts för vätgas under höga tryck och ett där det, med kvävgas, kontrolleras vilka tryck som tryckkärlen maximalt tål innan de brister.

Utrustningens risker med knallgasbildning, explosioner och höga tryck minimeras med hjälp av en genomtänkt konstruktion och tydliga säkerhetsinstruktioner. Detta resulterar i en utrustning vilken vid rätt hantering är säker att använda.

Projektet behandlar ej själva utformningen av tryckkärlen med faktorer såsom materialval, svetsmetod, gaskoncentrationer, tryck osv. Programmet skapas av personal på Autoliv. Monteringen av utrustningen samt CE-godkännandet kommer att utföras av Autoliv utanför projektets tidsram.

## SUMMARY

Autoliv is a vehicle safety technology company that has developed a concept for a gas generator to be used in airbags. The concept is that oxygen and hydrogen are kept in different pressure vessels and they are connected to a mixing chamber. Oxygen and hydrogen generate oxy-hydrogen gas which after ignition will expand the bag. However hydrogen easily reacts with surrounding materials, which might lead to hydrogen embrittlement. That's why Autoliv wants to test the pressure vessels and find out if hydrogen embrittlement occurs.

The equipment is designed and later on it will be CE certified and used at Autoliv in Vårgårda. The project includes not only the construction and the function of the equipment but also the documentation that will be needed to have the equipment CE certified. The documentation includes a user manual, CAD sketches, circuit layout, risk analysis and other information about used components.

The equipment is capable to perform two types of tests. The first test exposes the pressure vessels for high hydrogen pressure and the second one, with nitrogen, examines the burst pressure.

The risks of oxy-hydrogen gas, explosions and other dangers with high pressure are minimized by the construction itself and proper safety instructions. The equipment will not only be useful for the company but also safe to use.

The design of the pressure vessels is not included within this project. The computer program is created by Autoliv. The equipment will be mounted, installed and CE certified by staff at Autoliv outside the project's timeframe.

# INNEHÅLL

BETECKNINGAR OCH ORD.....	1
1. INLEDNING.....	3
1.1 Bakgrund .....	3
1.2 Syfte .....	3
1.3 Avgränsningar .....	3
1.4 Precisering av frågeställningen .....	3
1.5 Rapportens disposition .....	4
2. TEKNISK REFERENSRAM .....	5
2.1 Autolivs gasgenerator.....	5
2.2 Väteförspädning och sprödbrott .....	5
2.3 Gaser.....	5
2.3.1 Vätgas .....	5
2.3.2 Kvävgas .....	5
2.3.3 Knallgas .....	5
2.4 CE-märkning .....	6
2.5 Riskanalys .....	6
2.6 Använda programvaror .....	6
2.6.1 Microsoft Office .....	6
2.6.2 EasyEl.....	6
2.6.3 Catia v5.....	6
2.6.4 Refprop 9.1 .....	6
3. METOD .....	7
4. FÖRSTUDIE.....	8
4.1 Tidigare utrustning .....	8
4.2 Krav på den nya utrustningen.....	8
4.3 Förstudie av Autolivs gasgenerator.....	8
4.4 Varför skall kvävgas användas?.....	8
4.5 Vilka direktiv skall följas för CE-märkning? .....	8
4.6 ISO-bunker .....	8

5. TESTENS UTFÖRANDE .....	10
5.1 Allmänt kring test.....	10
5.2 Testsekvenserna .....	10
5.2.1 Stegformad testsekvens .....	10
5.2.2 Rampad testsekvens.....	11
6. IDENTIFIERING AV KOMPONENTER .....	12
6.1 Beskrivning av komponenter .....	12
6.2 Förklaring av kretsscheman .....	14
6.2.1 Uppkoppling av pneumatiska komponenter .....	14
6.2.2 Elektrisk inkoppling av tryckregulator .....	15
6.2.3 Elektrisk inkoppling av styrs witch .....	15
6.2.3 Elektrisk inkoppling av givare.....	15
6.2.4 Elskåp .....	15
6.2.5 Nödstopp.....	16
7. KONSTRUKTION OCH CAD .....	17
7.1 Bordsrigg.....	17
7.1.2 Process för utformning av teststationer .....	18
7.1.3 Slutkonstruktion av bordsriggen.....	20
7.2 Vägganordning .....	21
7.2.1 Process för utformning av vägganordning.....	21
7.2.2 Slutkonstruktion av vägganordning.....	21
8. RISKANALYS FÖR UTRUSTNINGEN.....	23
8.1 Knallgasbildning .....	23
8.1.1 Knallgasbildning i rör.....	23
8.1.2 Knallgasbildning i hela ISO-bunkerns sprängkammare .....	24
8.1.3 Knallgasbildning i gasmoln vid briserat tryckkärl .....	24
8.2 Brand .....	24
8.3 Explosion.....	25
8.3.1 Jämförelse av energimängd .....	25
8.3.2 Jämförelse av maximalt tryck i tryckvåg.....	26
8.4 Låg syrehalt .....	26

8.5 Höga tryck .....	27
8.6 Utformning .....	27
8.7 Säkerhetsinstruktioner från användarmanual .....	27
9. SLUTSATSER.....	29
9.1 Resultat.....	29
9.2 Diskussion .....	29
9.3 Rekommendationer .....	30
REFERENSER .....	31

## BILAGA A - BERÄKNINGAR

- A1. Mängd vätgas i hela sprängkammaren vid läckage från gasflaska
- A2. Mängd vätgas i hela sprängkammaren vid brisering av tryckkärl
- A3. Knallgasbildning i rör
- A4 ISO-bunkerns sprängkraftsbegränsning
  - A4.1 Jämförelse av energimängder
  - A4.2 Jämförelse av tryckvåg
- A5 Mängd kvävgas i hela sprängkammaren vid läckage från gasflaska

## BILAGA B - KRETSSCHEMAN

- B1. Pneumatiskt kretsschema
- B2. Inkoppling av styrswitch och givare
- B3. Elskåp

## BILAGA C – CAD – RITNINGAR

- C1. Bordsriggen
- C2. Vägganordning



## **BETECKNINGAR OCH ORD**

### **AO**

Analog Output.

### **ATEX**

Komponenter som är ATEX-märkta är anpassade för att arbeta i explosiva miljöer. (1)

### **CAD**

Computer Aided Design.

### **Deflagration**

Deflagration är en kemisk omsättning av explosivt ämne vars reaktionszon utbreder sig med en hastighet lägre än ljudhastigheten. (2)

### **Detonation**

Detonation är en kemisk omsättning av explosivt ämne vars reaktionszon breder ut sig med en hastighet högre än ljudhastigheten. (3)

### **DO**

Digital Output.

### **Flamhastighet**

Den hastighet som flamman breder ut sig med.

### **Hip**

En förkortning för företaget High Pressure Equipment Company.

### **ISO**

Internationella standardiseringsorganisationen.

### **Pneumatik**

Även kallat tryckluftsteknik som används för att överföra, lagra och styra energi med hjälp av gaser.

### **Stötvågstryck**

Trycket i den tryckvåg som uppkommer vid explosion. (4)

### **TNT**

Trinitrotoluen, även kallat Trotyl, är ett explosivt fast ämne.

**USB**

Universal Serial Bus.

**USB-hub**

En USB-hub är en enhet med flera USB-portar så att flera enheter kan sammankopplas med en dator eller dylikt.

**USP**

Uninterruptible Power Supply fungerar som ett batteri vid exempelvis strömavbrott.

**Zenerdiod**

En Zenerdiod har samma egenskaper som en vanlig diod i framriktningen, men ej i backriktningen. Dioden börjar dra ström först när den så kallade zenerspänningen uppnås, vilket är den spänning som dioden konstruerats och döpts efter. I detta projekt skall en Z12 användas, vilket betyder att det är en zenerdiod med 12 V zenerspänning. Spänningen är konstant över dioden efter att zenerspänning har uppnåtts men strömmen fortsätter att öka med drivspänningen.

**ÅF**

Ett teknikkonsultföretag, Ångpanneföreningen.

# 1. INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Autoliv AB är ett av världens största teknikföretag inom fordonssäkerhet. I de flesta av dagens krockkuddar används en gasgenerator med krutladdning för att aktivera uppblåsning av krockkuddar. Autoliv har utvecklat en renare gasgenerator där väte och syre reagerar med varandra och företaget vill fortsätta att utveckla denna. Vätgas reagerar dock lätt med omgivande material och ökar därmed risken för sprödbrott. Denna väteförsprödning sker framförallt i svetsfogarna. Autoliv behöver därför utrustning som kan testa tryckkärlen och därefter kunna garantera att de inte utsatts för väteförsprödning. En tidigare testutrustning har använts men denna skall nu ersättas.

## 1.2 Syfte

En ny testutrustning skall konstrueras för att kunna köra två olika typer av tester, ett provtryckstest och ett väteförsprödningstest. Funktionen bakom ett program skall utvecklas för att kunna genomföra test på upp till nio tryckkärl. Via programmet skall tryck i rör och tryckkärl kunna mätas upp och pneumatiska ventiler samt en pump skall kunna styras. Utrustningen skall styras från en dator som är placerad i skyddad miljö. För att senare få utrustningen CE-godkänd skall dokumentation formuleras innehållande ritningar, kretsscheman, en påbörjad riskanalys och mall för en användarmanual.

## 1.3 Avgränsningar

Utformningen av gasgeneratorerna och dess tryckkärl kommer ej att behandlas, exempelvis materialval, svetsmetod, gaskoncentrationer, tryck osv. Programmeringen skall utföras av personal på Autoliv. Ingen montering av utrustningen kommer heller att utföras då detta måste genomföras av utbildad personal på Autoliv. Ingen utformning av ISO-bunkern skall ske då denna redan är byggd och finns på området. Eftersom utrustningen ej kommer att vara monterad och installerad vid projektslut kommer den slutgiltiga riskanalysen och användarmanualen ej att kunna slutföras före detta. Utrustningen kommer därmed heller inte att CE-godkännas inom projektets tidsram.

## 1.4 Precisering av frågeställningen

- Vad krävs för att CE-märka utrustningen?
- Vilka risker finns vid användandet av utrustningen?
- Hur kan riskerna elimineras?
- Kan alla risker elimineras genom säker konstruktion eller krävs det säkerhetsinstruktioner i en användarmanual?

## 1.5 Rapportens disposition

Kapitel 2. Teoretisk referensram. Allmän teori som rekommenderas för förståelse av rapporten beskrivs här.

Kapitel 3. Metod. Här beskrivs metoden för upplägget av arbetets genomförande. Detaljer utelämnas. Dessa behandlas i kapitel 4, 5, 6, 7 och 8.

Kapitel 4. Förstudie. Här beskrivs hur informationen togs fram innan arbetets start. Syftet med studien är att få en ökad förståelse för uppgiften. Även den information som specifikt handlar om projektet och som tillhandahållits från företaget beskrivs här.

Kapitel 5. Testens utförande. I detta kapitel beskrivs funktionen bakom programmet. Observera att programmets källkod ej publiceras.

Kapitel 6. Identifiering av komponenter. Här beskrivs alla komponenter som valts, hur de fungerar samt hur de samverkar med varandra.

Kapitel 7. Konstruktion och CAD. I detta kapitel beskrivs hur utformningen av utrustningen sker, tankegångar i processen och slutkonstruktioner.

Kapitel 8. Riskanalys för utrustning. De kvarstående risker som finns hos utrustningen efter slutförd konstruktion, men innan montering, beskrivs här. Beräkningar kring de risker som kvarstår samt en uppskattning av storleken på dessa formuleras i detta kapitel. Vilka åtgärder som utförs formuleras i form av säkerhetsinstruktioner.

## 2. TEKNISK REFERENSRAM

### 2.1 Autolivs gasgenerator

En gasgenerator kan omvandla små gasvolymmer till stora med hjälp av en kemisk reaktion. Den stora volymen kan exempelvis användas vid uppblåsning av en krockkudde. Reaktionen har i en tidigare gasgenerator startats med hjälp av att antända en liten krutladdning. I Autolivs egen gasgenerator startas istället en reaktion mellan syrgas och vätgas, vilken blåser upp kudden. Gasgeneratoren är uppbyggd av två tryckkärl, ett för vardera gasen, samt en blandningskammare. Tryckkärlen och blandningskammaren är åtskilda av två stycken brytbrickor. Vid en eventuell krock skickas en styrsignal till gasgeneratoren som leder till att dessa brytbrickor öppnas och en reaktion sker.

### 2.2 Väteförspredning och sprödbrott

När atomärt väte diffunderar genom metallen och ansamlas i strukturdefekter, exempelvis blåsor, skiktningar och mikrosprickor, kan väteförspredning uppstå. Risken för vätesprödhet ökar med materialets hållfasthet, hårdhet, grovkornighet och kallbearbetningsgrad. Ju mer väte och spänning som påverkar sprickorna, desto större blir dessa. Svetsning bidrar till att materialet får en ökad hårdhet och därmed ökar risken för sprödbrott vid mekanisk påkänning. Vid sprödbrott brister materialet direkt utan att deformeras. (5)

### 2.3 Gaser

#### 2.3.1 Vätgas

Väte är det lättaste och vanligaste grundämnet i hela universum. Väte förekommer oftast i form av gas, som består av två väteatomer,  $H_2$ . Vätgas har en densitet på  $0,0827 \text{ kg/m}^3$  vid rumstemperatur och atmosfärstryck. Vätgas är en luktlös, smaklös och färglös gas i standardtryck och -temperatur, men den är mycket lättantändlig. (6) (7) (8)

#### 2.3.2 Kvävgas

Kväve är också ett grundämne vilken ofta förekommer i gasform. Även kvävet är färglöst och gasen består av två kväveatomer,  $N_2$ . Kväve har en densitet på  $1,2506 \text{ kg/m}^3$  vid rumstemperatur och atmosfärstryck. Kväve är en inert gas, det vill säga den reagerar inte kemiskt med sin omgivning (10). Den inerta gasen kan vara användbar vid släckning av bränder på grund av att den bidrar till att syrehalten sänks. (11). Dock kan kvävet också bidra till fara om det läcker ut i ett slutet utrymme, eftersom det kan bli svårt att andas. Syrehalten är 21 % i vanlig luft. (9) (10) (11) (12)

#### 2.3.3 Knallgas

Knallgas bildas av två volymdelar väte och en volymdel syre. Vid antändning exploderar denna våldsamt. Knallgasen kan endast antändas när vätgaskoncentrationen i förhållande till syrgaskoncentrationen är mellan 4 % och 96 %. (13) (14)

## 2.4 CE-märkning

CE-märket står för hälsa, miljö och säkerhet. Det innebär att tillverkaren/importören bekräftar att produkten följer de grundläggande krav som EU har satt upp för hälsa, miljö och säkerhet. Tack vare CE-märket kan också produkten säljas fritt över nationsgränserna inom EU. Vilka exakta krav som ställs beror på vad produkten klassas som. Den kan klassas inom flera olika kategorier, exempelvis en maskin, en tryckbärande anordning och en ATEX-produkt. Det finns ett direktiv med krav för varje kategori. För att få CE-märket krävs det inte bara att produkten konstrueras enligt kraven i direktiven, det måste också finnas dokumentation till utrustningen i form av exempelvis en användarmanual, riskanalys och ritningar. (15)

## 2.5 Riskanalys

Vid riskanalys analyseras förutsebara risker och de åtgärder som krävs. Ett förslag på tillvägagångssätt är:

1. Riskidentifiering – där riskerna identifieras.
2. Riskskattning – där det tas fram hur stor sannolikheten är att olyckor inträffar och hur allvarliga konsekvenserna av dessa anses vara. Dessa diskuteras lämpligen fram, i en gruppdiskussion, av involverad personal utifrån olika perspektiv. Möjliga konsekvenser tas också fram.
3. Riskvärdering – där risknivåer utifrån riskskattningen beräknas och olika åtgärder tas fram. Dessa värderas sedan utifrån effektivitet och kostnad.
4. Åtgärdsplan – där åtgärderna som skall göras tas fram.
5. Uppföljning – där bestämd åtgärdsplan följs upp. (16)

## 2.6 Använda programvaror

### 2.6.1 Microsoft Office

Rapporten skrivs i Microsoft Word 2010. Riskanalysen skrivs i Microsoft Excel 2010.

### 2.6.2 EasyEl

I programmet EasyEl, skapat av PK data, ritas kretsscheman för både el och pneumatik.

### 2.6.3 Catia v5

CAD-ritningarna över utrustningen konstrueras i Catia v5. Detta program har utvecklats av Dassault Systèmes.

### 2.6.4 Refprop 9.1

I bilaga A utförs flera beräkningar och några av dessa kräver densiteter vid högre tryck än atmosfärstryck. Dessa tas fram med programmet Refprop, version 9.1. Detta program har utvecklats av NIST, National Institute of Standards and Technology.

### 3. METOD

En beskrivning av utrustningens användningsområde presenteras av företaget.

Vissa komponenter beställs innan projektstart medan andra beställs under arbetets gång. Beställningen av komponenterna sker i samråd med leverantören Hydmos. Komponenter rekommenderas baserat på de önskemål vilka finns för funktionerna hos utrustningen.

Arbetet inleds med förstudier kring ämnesområdet. Alla val i projektet formas av ett risktänkande med målet att eliminera så många uppenbara risker som möjligt.

Ett el- och signalkretsschema samt ett pneumatiskt schema tas fram, med hjälp av programmet EasyEl. Detta för att få en bild av hur komponenterna i utrustningen skall kopplas samman och samverka. Utrustningen konstrueras utifrån krav och förbeställda komponenter. Detta sammanställs i form av 3D-ritningar, som ritas i CATIAv5. Ett program som skall styra utrustningens funktion utvecklas.

De risker vilka ej går att eliminera med konstruktionen nämns i en användarmanual med säkerhetsinstruktioner. En analys av kvarstående risker görs på den hypotetiska konstruktionen. Detta för att få en CE-märkt utrustning vilken skall bli säker att använda.

## **4. FÖRSTUDIE**

### **4.1 Tidigare utrustning**

Företaget har tidigare haft en testutrustning som också använt vätgas, men där trycket höjdes genom att gasen komprimerades med vatten. Denna utrustning skall bytas ut på grund av problem med vattenläckage till tryckkärl, vilket försämrar testresultaten. Vid vissa tillfällen har även små mängder av oönskat vatten läckt ut i sprängkammaren och utrustningen är allmänt sliten.

### **4.2 Krav på den nya utrustningen**

Den nya utrustningen skall ersätta den gamla och CE-märkas. Ett krav på den nya utrustningen är att den endast skall ha gas som arbetsmedium. Två olika testsekvenser skall kunna utföras, en stegformad och en rampformad, på upp till nio tryckkärl. Utrustningen skall även vara digitalt styrbar för att minimera riskerna med fysisk närvaro vid test.

### **4.3 Förstudie av Autolivs gasgenerator**

Den gasgenerator som utrustningen skall anpassas efter studeras. En presentation av hur denna fungerar och studiematerial i form av ritningar ges av personal på Autoliv.

### **4.4 Varför skall kvävgas användas?**

För att eliminera risker med knallgas skall kvävgas, eller annan inert gas, användas. På grund av stora risker med användning av vätgas önskas en större förståelse för de olika gasernas egenskaper.

### **4.5 Vilka direktiv skall följas för CE-märkning?**

Eftersom den nya testutrustningen skall CE-märkas utförs en förstudie som skall öka förståelsen för vad CE-märkning innebär och hur arbetet skall planeras för att nå detta mål.

Utrustningen definieras som en maskin då den är en ”sammansatt enhet som är försedd med ett drivsystem som inte utgörs av någon direkt drivkraft från människa eller djur”. Den definieras även som en tryckbärande anordning då det högsta tillåtna trycket kommer att överstiga 0,5 bar. Utrustningen skall även användas i explosionsfarlig miljö. För att slutligen CE-godkänna utrustningen skall dess utformning och funktion följa krav från ”Maskindirektivet”, direktivet för ”Tryckbärande anordningar” samt ATEX-direktivet. (17) (18) (19)

### **4.6 ISO-bunker**

Utrustningen skall placeras i en specialtillverkad ISO-bunker vilken är belägen inom företagets område. I förstudien undersöks uppbyggnaden av ISO-bunkern och dess begränsningar. Bunkerns dimensioner, se figur 4.1, och dess maximalt tillåtna sprängkraft påverkar utformningen av utrustningen. Vid omplacering av utrustningen måste en likadan eller större bunker uppföras. ISO-bunkern är byggd på ett sådant sätt att den ej skall ta skada av en eventuell



explosion motsvarande 200 g TNT. Dock finns inga övertrycksventiler installerade i bunkern som kan släppa ut ett eventuellt övertryck vid en explosion.

ISO-bunkern är uppdelad i flera rum: en hall, ett kontrollrum och en sprängkammare. I sprängkammaren finns en korridor som är avskärmd från sprängområdet, med en betongvägg. Vid beräkningar används ofta sprängkammarens volym. Observera att det då menas både sprängkammaren och den avskärmade korridoren då ingen dörr separerar dessa. Dock räknas betongväggens volym bort. ISO-bunkern är sedan tidigare utrustad med en ventilation.

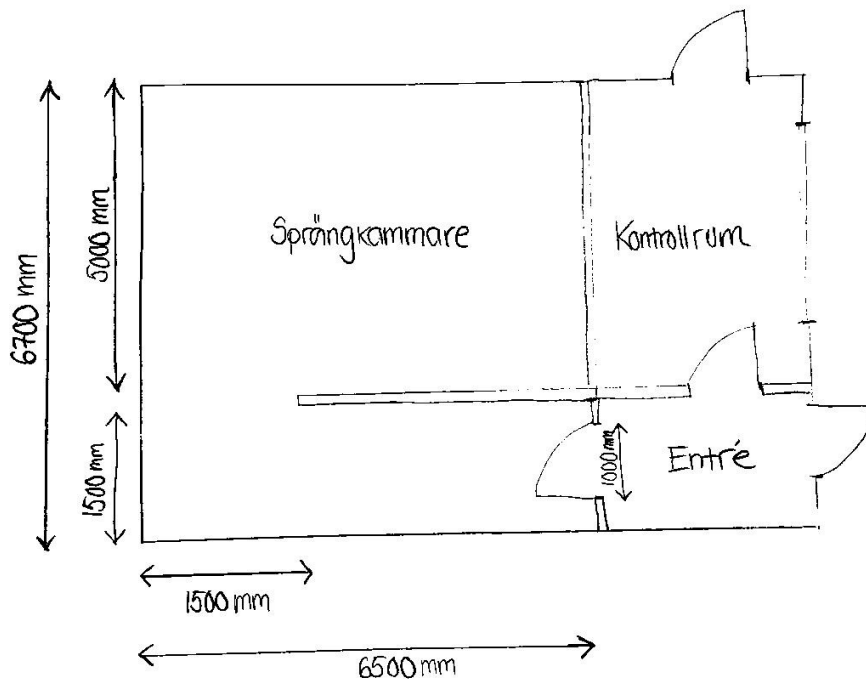
**Sprängkammarens väggdimensioner:**  $6,7\text{ m} \times 6,5\text{ m}$

**Sprängkammarens höjd från golv till tak:**  $4\text{ m}$

**Betongväggens volym:**  $0,2\text{ m} \times 5\text{ m} \times 4\text{ m} = 4\text{ m}^3$

Sprängkammarens totala volym fås genom:

Ekv.1:  $V = (6,7 \cdot 6,5 \cdot 4,0) - 4,0 = 170,2\text{ m}^3$



Figur 4.1. Ritning över ISO-bunker.

## 5. TESTENS UTFÖRANDE

### 5.1 Allmänt kring test

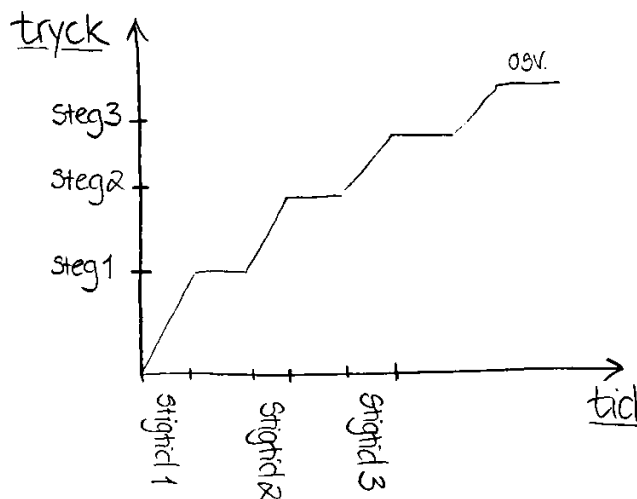
Programmet, vilket skall styra utrustningen, körs via en dator som placeras på en säker plats i bunkern och möjlighet att fjärrstyra denna dator från annan byggnad finns. Via datorn skall det vara möjligt att bland annat övervaka testet samt avbryta testsekvensen. Testen skall senare utföras av personal på Autoliv. Utrustningen automatiseras till den grad att operatören aldrig skall behöva befinna sig i testutrymmet under pågående test, förutom vid läcksökning.

Innan testsekvens påbörjas skall operatören kontrollera gastrycket i flaskorna för att undvika att gastrycket blir för lågt under pågående test. Därefter kan de tryckkärl, som skall testas, monteras på varsin teststation. Innan start av testsekvens väljs vilka stationer som skall användas samt vilken testsekvens som skall köras.

### 5.2 Testsekvenserna

#### 5.2.1 Stegformad testsekvens

Testet skall kunna utsätta tryckkärl för vätgas under lång tid och höga tryck. Detta för att i kommande steg kunna kontrollera att dessa ej påverkats av väteförspredning. En speciell provplan, där trycket ökas stegvis tills maximalt tryck uppnås, har införskaffats av Autoliv. Det konstanta trycket i varje steg bibehålls under en viss tid och stigtiden mellan varje steg väljs efter denna provplan. Programmet skall utformas så att den nuvarande provplanen lätt kan bytas ut mot en ny i framtiden.



Figur 5.1 – Beskrivning av den stegformade testsekvensen. Data publiceras ej på axlarna på grund av sekretess.

Programsekvensen för det stegformade testet skall inledas med att kvävgasflaskan öppnas och systemet trycksätts till 50 bar. Därefter skall en läcksökning utföras med hjälp av läckspray för att kontrollera att alla kopplingar monterats korrekt. Eventuellt läckage skall åtgärdas.

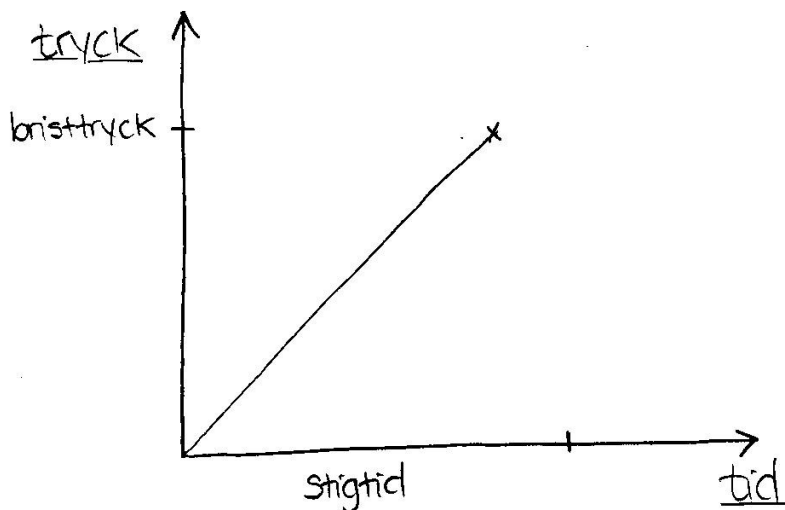
Programsekvensen fortsätter med en provtryckning där trycket skall ökas till önskat maximalt tryck med kvävgas vilket skall hållas konstant under en förbestämd tid. Detta för att kontrollera att tillverkningen av testobjekten skett felfritt, men också för att minska koncentrationen syre i systemet innan växling till vätgas skall ske. Efter provtryckningen skall avlastningsventilen öppnas och gasen släppas ut. Om något objekt går sönder under detta test skall denna teststation stängas för resten av testet.

Därefter skall huvuddelen av testet startas, vilket körs med vätgas, enligt ovan nämna princip. Tryckkärnen skall testas parallellt med varandra och tryckökningen skall ske för ett objekt i taget. Detta för att minska risken för att få farliga vätgasvolymmer i rummet och för att ej påfresta gasboostern i onödan. Även här skall stationen stängas vid briserat tryckkärl. Testet skall avslutas när maximalt tryck uppnås i alla tryckkärl. Alla ventiler öppnas och systemet tryckavlastas. Därefter skall ännu en sköljning ske med kvävgas i rör och andra komponenter.

Efter detta test kan det sedan avgöras om provobjekten har påverkats negativt av väteförsprödning eller inte. Observera att detta sker med annan utrustning.

### 5.2.2 Rampad testsekvens

Utrustningen skall även kunna utföra en rampad testsekvens med kvävgas för att kontrollera hållbarheten hos tryckkärnen. Trycket skall ökas, enligt valfri stigtid, till brott sker eller önskat maximalt tryck uppnås. Ett tryckkärl kan testas åt gången då det endast skall finnas en station på riggen för denna testsekvens.



Figur 5.2 – Beskrivning av den rampade testsekvensen. Data publiceras ej på axlarna på grund av sekretess.

## 6. IDENTIFIERING AV KOMPONENTER

### 6.1 Beskrivning av komponenter

För placering av komponenter, se bilaga B1.

#### **Utloppssystemet:**

I detta system skall gas ledas ut från växelventilsystemet, avlastningsventilen, säkerhetsventilen och gasboostern. Funktionen med detta system är att gasen skall ledas direkt ut ur ISO-bunkern, där ingen farlig knallgaskoncentration kan bildas. Vid avlastningsventilen skall ett munstycke placeras som bidrar till ett lägre tryck i utloppsrören.

#### **Gasboostern:**

Gasboostern krävs för att kunna bygga upp det önskade gastrycket i systemet. Den booster som väljs, typ AG-233, kommer från Haskel. Gasen skall föras in i boostern och pumpas ut i systemet med hjälp av gasboosterns kolv som drivs av tryckluft. Denna tryckluft skall styras av en tryckregulator. Det finns alltid ett visst gasläckage i alla booster och därför skall boostern kopplas till utloppssystemet.

#### **Tryckregulator och luftregulator:**

Den tryckregulator som väljs är tillverkad av Haskel, modell 550-AKD. Den skall förses med tryckluft på cirka 8 bar, styrs med en signal på 4 – 20 mA och har en inre resistans på 315 ohm. Tryckregulatorns pneumatiska utflöde är för svagt för att ensamt styra gasboostern och skall därför förstärkas i en luftregulator. Den är från Haskel, typ 1611A, med utväxlingen 1:1 och med rördimensionen ¼ tum.

#### **Givare:**

En givare, vilken skall placeras efter ventilen vid varje teststation, övervakar trycket i kärnen. Ännu en givare skall placeras precis efter boostern för kontroll av trycket i rören. Givaren som väljs, typ E-10-1000 DX, skickar en signal på 1-5 V till mätkortet. Den är även ATEX-märkt och har en koppling av typen ½ tums NPT. Detta är den enda komponenten som är ATEX-märkt eftersom den sitter närmast tryckkärnen och är därmed den mest utsatta komponenten vid en eventuell explosion.

#### **Ventiler:**

En ventil skall placeras vid varje tryckkärl för påfyllning och utsläpp av gas. Det skall även finnas en avlastningsventil som leder gasen direkt från systemet ut ur ISO-bunkern. Det skall användas två olika sorters ventiler, normalt öppen eller normalt stängd. De ventiler som skall placeras vid teststationerna är normalt stängda ventiler av typ 30UV41V-ATO5. Att ventilerna är normalt stängda innebär att vid utebliven styrsignal, exempelvis vid strömavbrott, stängs dessa. Normalt stängda ventiler väljs till teststationerna eftersom om ett tryckkärl skulle brisa och ett strömavbrott skulle ske, skall gasen i systemet ej kunna läcka ut genom det trasiga tryckkärlet. Den ventil som skall fungera som avlastningsventil är en normalt öppen ventil av typ 30UV41V-

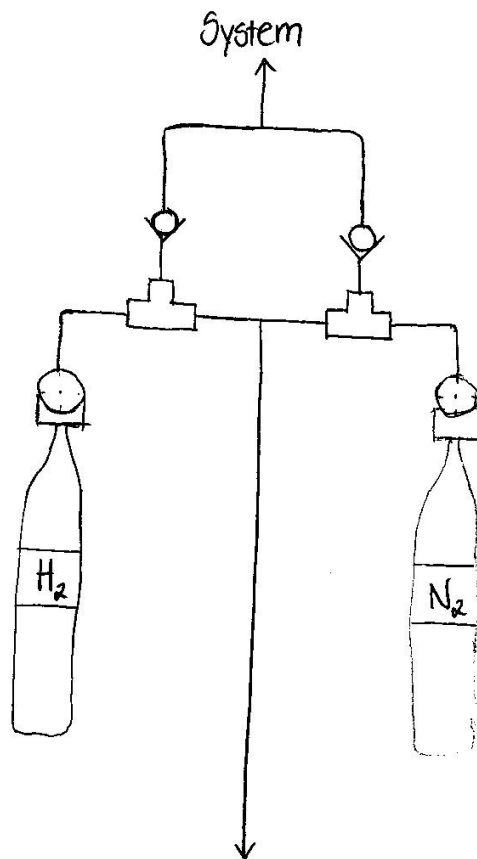
ATC5. Denna skall leda ut gasen ur ISO-bunkern och väljs för att systemet ej skall vara trycksatt vid strömavbrott.

### **Gasflaskor:**

Två gasflaskor skall kopplas till systemet, en med vätgas och en med kvävgas. Båda flaskorna skall ha ett tryck på 200 bar och en volym på 50 liter. På dessa skall manuella tryckregulatorer placeras som ställs in på 50 bar. Flaskorna skall placeras vid väggen i korridoren till ISO-bunkerns sprängkammare.

### **Växventilsystemet:**

För att kunna fjärrstyra bytet mellan kvävgas och vätgas samt stoppa tillförseln av gas, krävs ett system med två växventiler. Här väljs en ventil av typen 3DVK63-20-20-20 med påmonterat pneumatiskt styrdon, typ RC210. Se figur 6.1. Växventilerna skall förses med varsin backventil som förhindrar bakåtströmning in i gasflaskorna. Utloppssystemet, som skall leda ut eventuell gas före backventilen, aktiveras då växventilen stänger flödet mellan flaska och system.



Figur 6.1 – Växventilsystemet med två gasflaskor, två växventiler och två backventiler. Växventilsystemet är kopplat till utloppssystemet.

### **Styrswitchar:**

Eftersom att alla ventiler är i kontakt med gasen skall dessa vara luftstyrda. Elstyrda styrswitchar skall styra tryckluften till ventilerna genom att antingen vara helt öppna eller helt stängda.

Styrswitchar är inbyggda i de normalt öppna och normalt stängda ventilerna. Valet för modell av styrswitchar för växelventilerna är ej klart vid projektets slut.

### **Säkerhetsventil:**

Det skall finnas en säkerhetsventil med sprängbleck som brister då trycket i rörsystemet når cirka 1300 bar. Detta för att skydda andra komponenter mot övertryck. Gasen skall ledas ut ur bunkern genom utloppssystemet. Valet av modell för denna komponent är ej klart vid projektets slut.

### **Rör och kopplingar:**

Rören skall anpassas för att stå emot väteförspädning och tryck upp till 1400 bar. Rören är av typ 20-109-316. För att koppla samman tre rör finns T-kopplingar, typ 20T4, som även dessa är tillverkade för att klara både väteförspädning och höga tryck. Ett förslag finns på rör som lätt skall kunna bytas ut och som skall placeras i direkt anslutning till tryckkärlet. Förslaget är en HiP-komponent, 20-LM4-X, i rostfritt stål med en innerdiameter på 7/64 tum. X motsvarar rørets längd. Dock är valet av modell för denna komponent ej klart vid projektets slut.

### **Tryckavlastande kopplingar:**

Kopplingar som automatiskt tryckavlastar vid demontering skall finnas för operatörens säkerhet. Valet av modell för denna komponent är ej klart vid projektets slut.

### **Mätkort:**

Kortet, National Instruments typ USB-6211, skall ta emot värde från givarna samt skicka styrsignaler till tryckregulatorn och ventilernas styrswitchar. Eftersom antalet analoga utgångar endast är fyra stycken per kort krävs det totalt tre stycken mätkort till de nio teststationerna.

### **Backventiler:**

Backventilerna skall se till att gasen endast går i en riktning. De skall placeras i utloppssystemet och växelventilsystemet. Kravet på tryckkänslighet är mycket lägre på den backventil som placeras i utloppssystemet, tack vare munstycket. De som skall placeras i växelventilsystemet är anpassade att tåla 200 bar. En gemensam faktor är att de alla tål vätgas. Valet av modell för denna komponent är ej klart vid projektets slut.

## **6.2 Förklaring av kretsscheman**

### **6.2.1 Uppkoppling av pneumatiska komponenter**

I bilaga B1 kan den pneumatiska uppkopplingen visualiseras. Varje teststation består av en givare och en ventil med tillhörande styrswitch. För information om övriga komponenter, se tidigare avsnitt.

### 6.2.2 Elektrisk inkoppling av tryckregulator

Eftersom mätkortet skickar spänningssignaler och tryckregulatorn tar emot en strömsignal krävs en spänning-ström omvandlare. Denna uppkoppling kan ses i bilaga B3. En zenerdiod skall begränsa effekten till en transistor, typ BC337, och därmed värmeutvecklingen i denna. På grund av att tryckregulatorn har en inre resistans på 315 ohm och transistorn har ett spänningsfall på 0,7V över bas-emitter, krävs det ett motstånd efter transistorn på 150 ohm för att få 20 mA vid maximal styrsignal på 10V. Se ekvation 2.

$$\text{Ekv. 2: } \frac{(10-0,7)V}{0,02 A} = 465 \text{ ohm} \rightarrow 465 \text{ ohm} - 315 \text{ ohm} = 150 \text{ ohm}$$

Detta leder till att signalen från mätkortet måste anpassas så att 4 mA ges till tryckregulatorn vid minimal styrsignal. Enligt ekvation 3 och 4 anpassas den minimala styrsignalen till 2,56V.

$$\text{Ekv. 3: } \text{Total resistans: } 150 \text{ ohm} + 315 \text{ ohm} = 465 \text{ ohm}$$

$$\text{Ekv. 4: } 465 \text{ ohm} \cdot 0,004 A = 1,86 V \rightarrow 1,86 V + 0,7 V = 2,56 V$$

### 6.2.3 Elektrisk inkoppling av styrs witch

Signalen till styrs witchen behöver förstärkas för att försäkra att styrs witchen får den ström den behöver. Detta skall göras med hjälp av en transistor, typ BC337, med ett spänningsfall på 0,7 V över bas-emitter. Denna uppkoppling kan visualiseras i bilaga B2. Dess maximala ström är, enligt datablad, 0,8 A. Den minsta förstärkningen för transistorn är 250 ggr vilket medför att den minsta strömmen som behövs in till transistorn kommer att vara 0,0032 A. Se ekvation 5.

$$\text{Ekv. 5: } \frac{0,8 A}{250} = 0,0032 A$$

Detta leder i sin tur till att det kommer krävas ett motstånd innan transistorn på ca 1344 ohm. Motståndet väljs dock till 1200 ohm för att vara säker på att transistorn bottnar. Se ekvation 6.

$$\text{Ekv. 6: } \frac{(5-0,7)V}{0,0032 A} = 1343,75 \text{ ohm}$$

### 6.2.3 Elektrisk inkoppling av givare

Givarna skall kopplas till 24-Volts-matningen och skicka en signal på 1-5 Volt till mätkortet. Detta visualiseras i bilaga B2.

### 6.2.4 Elskåp

I elskåpet skall tre stycken, av ovan nämnda, mätkort placeras. Dessa skall sedan kopplas samman i en USB-hub till en PC. På grund av avståndet mellan datorn och mätkorten i elskåpet skall en 10m lång USB-sladd med förstärkare införas. I skåpet skall även elaggregatet, som transformerar 230V nätspänning till 24V likspänning, placeras.

### **6.2.5 Nödstopp**

Ett nödstopp skall placeras lättåtkomligt i ISO-bunkern. Vid nödsituation skall detta nödstopp aktiveras manuellt. All strömtillförsel bryts och manuell aktivering måste ske för att åter sätta på strömmen. Utformning av nödstoppet är ej bestämt vid projektslut.



## 7. KONSTRUKTION OCH CAD

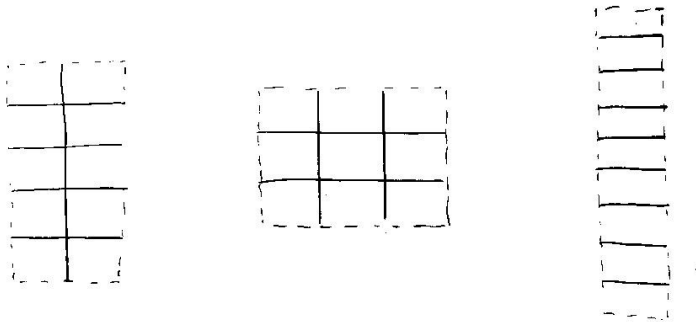
Utrustningens konstruktion delas upp i en bordsrigg och en vägganordning. Vid bordsriggen skall alla tryckkärl monteras och eventuella explosioner ske. På vägganordningen skall bland annat gasboostern, elskåp och andra känsliga komponenter placeras.

### 7.1 Bordsrigg

#### 7.1.1 Process för utformning av bordet

##### Testobjekt i en rad eller flera i bredd?

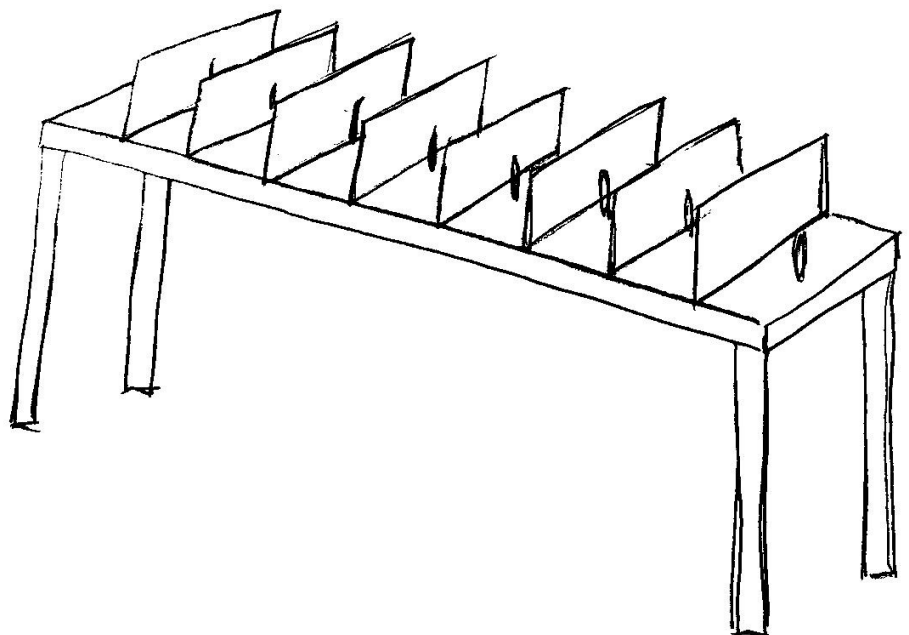
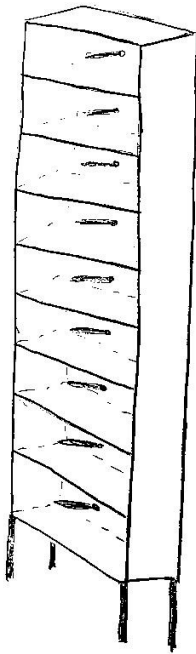
Bordets mått utgår från i fall det placeras flera i bredd eller endast en rad av testobjekt, se förslag nedanför i figur 7.1. Fördelen med att placera flera testobjekt i bredd är att ett kortare bord erhålls och därmed en mer stabil konstruktion. Nackdelen med denna konstruktion är dock att det blir mer komplicerat vid montering av skyddsväggarna samt att fler väggar krävs. Dessutom krävs fler moment varje gång tryckkärlet monteras. Fördelen med endast en rad av testobjekt är att skyddsväggsskenorna blir enklare att konstruera, skyddsväggarna blir färre och det blir också färre moment vid montering och demontering av tryckkärl. Nackdelen är dock att bordet blir mycket längre med nio objekt i rad jämfört med om dessa sitter i bredd.



*Figur 7.1 - Till vänster är ett förslag på två teststationer i bredd, i mitten är ett förslag på tre teststationer i bredd och till höger är ett förslag på endast en rad av teststationer.*

### Vertikal eller horisontell konstruktion?

Två tankesätt finns kring hur bordet skall stå, antingen vertikalt, enligt figur 7.2, eller horisontellt, enligt figur 7.3. Den främsta fördelen med att ha ett vertikalt bord är att det blir enkelt att komma åt rörsystemet med givare och ventiler vid underhållsarbete. Dock blir höjden på konstruktionen en nackdel eftersom operatören växelvis får arbeta vid låga respektive höga höjder, vilket inte är optimalt ur arbetsmiljösynpunkt. En horisontell konstruktion ger en bekvämare arbetshöjd men sämre åtkomlighet av rörsystemet.



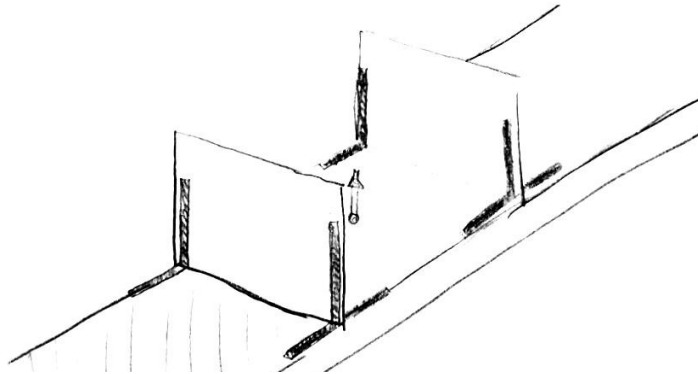
Figur 7.2 – Vertikal konstruktion.

Figur 7.3 - Horisontell konstruktion.

### 7.1.2 Process för utformning av teststationer

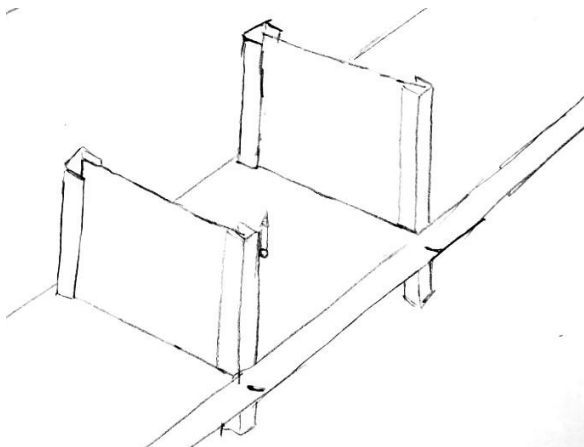
För att undvika att testobjekten påverkar varandra under test önskas ett skydd mellan teststationerna. Det skall vara enkelt att komma åt med verktyg för montering och demontering av tryckkärnen. Två olika förslag på skyddsväggar mellan tryckkärnen finns. I båda förslagen används materialet sträckmetall som skyddsvägg då denna är billig, lätt att hantera samt släpper igenom gas på grund av dess gallerliknande utformning.

Det första förslaget utgörs av en sträckmetallplåt som kläms fast mellan fyra stycken konsoler, enligt figur 7.4. För att kunna byta ut plåten krävs endast att lossa på skruvarna som håller fast konsolerna. Ett arbetsavstånd mellan skyddsväggarna krävs för att konsolerna ej skall behöva tas bort. Detta för att få plats med verktyg vid montering och demontering av tryckkärlen. Förslaget ger en enkel konstruktion men med nackdelen att ett arbetsavstånd mellan skyddsväggarna krävs, vilket resulterar i ett längre bord.



*Figur 7.4 - Skyddsväggar med fyra konsoler.*

För att inte behöva så stora arbetsavstånd finns ytterligare ett förslag, enligt figur 7.5. Istället för att använda konsoler föreslås skenor vilka svetsas ihop med sträckmetallens kanter. Hål i stålramen konstrueras och i dessa kan skenor placeras. Detta gör det enkelt att ta bort skyddsväggarna vid montering och demontering av tryckkärlen, vilket leder till att ett mindre arbetsavstånd krävs. Avståndet mellan skyddsväggarna kan på så vis minskas och därmed även hela bordslängden.



*Figur 7.5 - Skyddsväggar med löstagbara skenor.*

### 7.1.3 Slutkonstruktion av bordsriggen

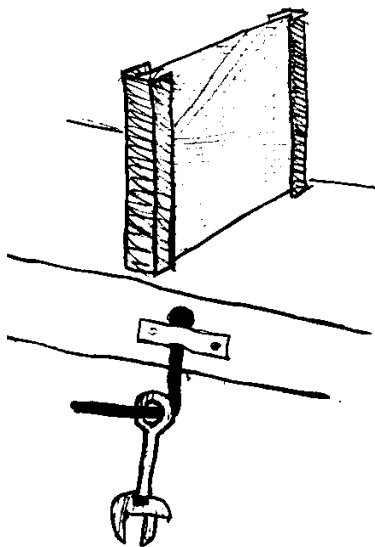
Testobjekten skall placeras i en rad. Ett långt bord är att föredra framför att ha ett komplicerat skyddssystem mellan teststationerna. På grund av att arbetshöjden prioriteras före tillgänglighet av rörsystemet, föll valet på den horisontella konstruktionen. Skyddsväggarna väljs enligt figur 7.5.

För att skydda rörsystemet och dess komponenter under teststationerna skall en plåt monteras på bordets ovansida. På baksidan av bordet skall en annan plåt i benen fästas för placering av komponenterna. Stål väljs som material till bordets ramar, ben och plåtar för ökad tyngd och därmed stabilitet. De komponenter vilka skall placeras under bordsytan är givarna till varje tryckkärl, ventilerna med styrswitchar till varje tryckkärl samt övriga rör och kopplingar. Rör för gas och tryckluft skall kopplas mellan bordsriggen och vägganordningen.

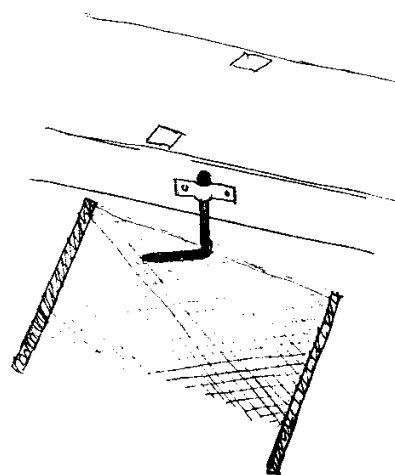
Bordsriggens mått uppskattas till 0,9x0,5x1,8 m (höjd, bredd, längd). Höjden väljs med tanke på att det skall vara en bra arbetshöjd för operatören. Bredden väljs med tanke på att dörren in till sprängkammaren endast är 1 m bred och att utrustningen, enligt maskindirektivet, skall kunna tas in och ut därifrån via dörren. (17). Stabiliteten och utrymmet för komponenter under bordsytan är faktorer som även bidrar till den slutgiltiga bredden.

Tanken kring benens utformning är att de skall öka stabiliteten men samtidigt inte vara i vägen för operatören. Fyra ben väljs för optimal stabilitet. För att lätt kunna flytta utrustningen, men samtidigt bibehålla stabiliteten, väljs låsbara hjul.

Två metallkrokar väljs till bordsriggen för att få möjlighet att hänga upp verktyg, se figur 7.6, och skyddsväggar, se figur 7.7. Dessa skall placeras lätt tillgängliga på bordets metallram för att förenkla montering och demontering av tryckkärl.



Figur 7.6 - Krok för upphängning av verktyg.



Figur 7.7 - Krok för upphängning av skyddsväggar.

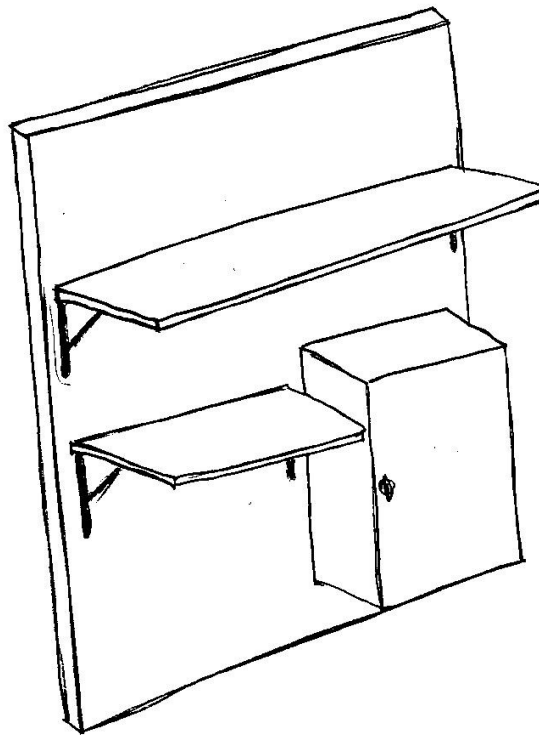
## 7.2 Väggarordning

En väggarordning utformas med möjlighet att kunna hängas upp på väggen och även lätt tas ned.

### 7.2.1 Process för utformning av väggarordning

#### Hyllplan eller endast stålramverk?

Två idéer finns angående hur komponenterna skall fästas. Det ena sättet är att placera och fästa komponenter horisontellt på hyllor, se figur 7.8. En nackdel med denna idé är dock att dessa hyllor behöver starka fästen i väggriggen för att kunna bära upp exempelvis gasboostern vilken väger 18 kg. Det blir också komplicerat vid el- och rördragning. Därför anses det onödigt krångligt att använda hyllor som upphängningsmetod. Det andra sättet är att endast ha ett aluminiumramverk där de tunga komponenterna kan fästas vertikalt. Dock är det en nackdel att de små komponenterna blir svåra att fästa i dessa ramverk.



Figur 7.8 - Förslag på en väggarordning med hyllor.

### 7.2.2 Slutkonstruktion av väggarordning

Slutligen väljs en väggarordning med endast aluminiumramverk, då problemet med upphängningen av små komponenter lätt kan åtgärdas genom att fästa en plåt på aluminiumramarna. Detta medför inga problem för de stora komponenterna då de fortfarande kan fästas i aluminiumramverken bakom plåten för ökad stabilitet.

Vägganordningens mått uppskattas till 1,0x0,9x0,05 m (höjd, bredd, djup). Alla mått väljs med tanke på att komponenterna skall få plats utan att det skall bli onödigt stort. Samtidigt skall det vara lätt att ta ut väggriggen från ISO-bunkern.

På vägganordningen skall boostern, elskåp, givaren som placeras direkt efter boostern, tryckregulatorn, luftregulatorn och växelventilsystemet för gasflaskorna placeras.

Vägganordningen skall, som tidigare nämnts, kunna hängas upp på väggen med hjälp av fyra skruvar. Det skall vara möjligt att kunna ta ned vägganordningen från väggen. Två ”klackar” konstrueras för att underlätta detta moment. ”Klackarna” skall fungera som ett stöd vid upp- och nedmontering av vägganordningen.

## 8. RISKANALYS FÖR UTRUSTNINGEN

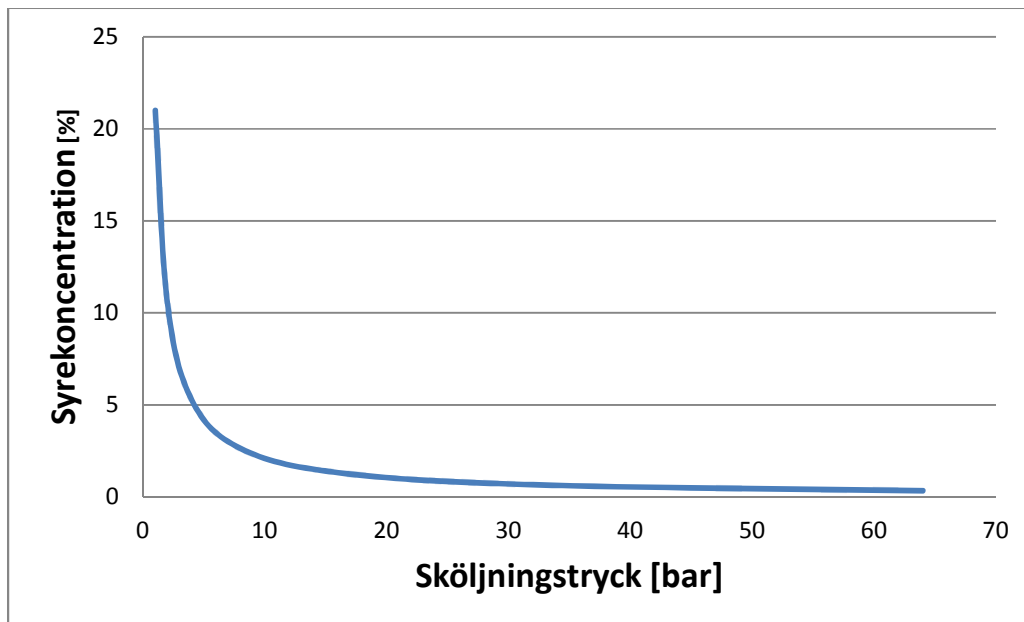
Riskanalysen behandlar de risker som ej är möjliga att eliminera genom konstruktion eller andra åtgärder. Observera att ytterligare risker kan uppkomma efter att utrustningen färdigställts.

### 8.1 Knallgasbildning

#### 8.1.1 Knallgasbildning i rör

Om vätgasen blandas med luftens syre kan knallgas bildas. Detta kan ske om vätgashalten, i förhållande till syrehalten, hamnar i riskzonen 4 % - 96 %. För att minimera risken att få knallgas i rör och komponenter, skall rörsystemet sköljas med kvävgas både före och efter test. Efter sköljning, med 50 bar, anses risken att knallgas skall bildas vara mycket låg eftersom syrekonzentrationen minimerats.

Denna slutsats är ett resultat av en beräkning på hur hög syrehalten blir i förhållande till vilket tryck sköljningen sker med. Beräkningen förenklas genom att ett linjärt förhållande antas mellan trycket och volymen, vilket medför att syrekonzentrationen halveras med dubblat sköljningstryck. Det antagna linjära förhållandets avvikelse från verkligheten ökar med trycket. Dock sker en markant tryckökning vid provtryckningen, vilket minskar syrekonzentrationen ytterligare. Denna beräkning visualiseras i en graf över sambandet mellan syrekonzentration och sköljtryck, se figur 8.1.



Figur 8.1 - Diagram för hur syrekonzentrationen förhåller sig till trycket om ett linjärt förhållande mellan tryck och volym antas.

Om syre, mot förmodan skulle finnas i systemet vid start av vätgastest, kan det rent teoretiskt sett bildas knallgas i rör och komponenter. Denna risk anses dock vara mycket liten på grund av de höga tryck som uppnås i systemet. Denna slutsats framkommer ur beräkningar där det fastslås att vätekoncentrationen överskrider 96 %, vilket är den övre gränsen för riskzonen, redan efter 25 bar, se bilaga A3. Vid lägre tryck kvarstår risken för knallgasbildning under en kort tid. Risken att antända den eventuella knallgasen minimeras, se avsnitt 8.3.

För att förhindra att syre tar sig in i systemet krävs en backventil vid slutet av utloppssystemet, se bilaga B1. Detta för att förhindra att knallgas bildas i utloppssystemet. Utanför bunkern kan ej knallgas bildas.

### **8.1.2 Knallgasbildning i hela ISO-bunkerns sprängkammare**

Ett önskemål finns att aldrig överstiga vätekoncentrationen på 1,5 % i sprängkammaren. För att minska risken för denna händelse skall ventilationen alltid vara påslagen under pågående test. Risken för knallgasbildning i hela ISO -bunkerns sprängkammare anses därmed vara mycket liten.

Denna slutsats framkommer ur beräkningar, se bilaga A. För att förenkla beräkningarna antas det värsta fallet, vilket är om ISO-bunkern ej kan ventilera ut någon gas. Två olika fall kan orsaka stora vätgasläckage: att hela gasflaskan läcker ut eller att alla nio tryckkärl briserar vid maximalt tryck, 1400 bar. Det visar sig, i bilaga A1, att det finns nästan tre gånger så mycket vätgas i flaskan mot vad som behövs för att hamna i riskzon för knallgasbildning i kammaren. Risken för att dessa komplikationer skall ske samtidigt anses vara mycket liten. Om denna risk i den slutgiltiga riskanalysen värderas hög kan en lösning vara att placera gasflaskorna på utsidan av bunkern. Om alla nio tryckkärl briserar uppnås endast en gasmängd som motsvarar en fjärdedel av den mängd som krävs för att hamna i riskzonen för knallgasbildning, enligt bilaga A2. Trots att denna risk kan försummas kvarstår risken att gasmoln bildas vid brustna tryckkärl.

### **8.1.3 Knallgasbildning i gasmoln vid briserat tryckkärl**

En risk finns att knallgas bildas i gasmoln när tryckkärl brister. En stor volym vätgas släpps ut i sprängkammaren på kort tid. När detta sker hinner ej ventilationen att skingra gasen och därmed kan eventuell explosiv knallgas existera under en mycket kort tid. Risk för explosion finns vid antändning av denna gas, se avsnitt 8.3. Sannolikheten att alla tryckkärl skall brisera samtidigt anses mycket liten eftersom trycket endast ökas för ett kärl i taget.

## **8.2 Brand**

På grund av den tid det tar för systemet att upptäcka att ett tryckkärl briserat och stänga ventilen, kommer en viss mängd vätgas från rörsystemet att hinna läcka ut. Denna gas kan ej bidra till en större explosion på grund av den tid det tar för gasen att lämna systemet. Vid den tidpunkten har gasmolnet förmodligen redan skingrats. Dock kan denna gas förse en eventuell explosion med mer energi och därmed ge upphov till en större brand.



## 8.3 Explosion

För att minska risken att få en knallgasexplosion väljs gasboostern och ventilerna att styras med tryckluft eftersom dessa är i direkt kontakt med vätgasen. Risken att få en oönskad elektrisk gnista, som kan antända eventuell knallgas, minimeras därmed. Dock kvarstår risken med statiska laddningar i luften.

Sprängkraften som får uppkomma i ISO-bunkern är begränsad till en explosion motsvarande 200 g TNT. Enligt tester klarar dock ISO-bunkern en explosion som motsvarar dubbelt så stor kraft, utan att skadas. En analys är nödvändig för att garantera att bunkern ej skadas vid eventuella explosioner.

Dock är det många faktorer som påverkar sprängkraften som bunkern kan utsättas för. Det som påverkar om det blir en explosion i form av en detonation eller en deflagration är bland annat: hur gassammansättningen ser ut och vilken energimängd tändkällan har (14). En explosion påverkas också av hur luften fördelas och betar sig i rummet, även kallat diffusion. Diffusionen påverkas i sig av andra eventuella föremål som är placerade i utrymmet. Det som avgör hur farlig explosionen blir är hur stor brand som uppstår samt hur stark tryckvågen blir.

Förenklat sagt bildas en stark tryckvåg vid en detonation medan en större brand istället utvecklas vid en deflagration. En deflagration kan också leda till en detonation (20). Hur stark tryckvågen blir beror bland annat på avståndet till väggen (21), vilken energimängd knallgasen har samt vilken förbränningshastighet som gasen får. Alla dessa tidigare nämnda faktorer leder till att analysen skulle bli mycket omfattande för att garantera att bunkern klarar en eventuell explosion.

En beräkning önskas ändå kring hur ISO-bunkern påverkas av en explosion. Explosionen kan, som tidigare nämnt, orsakas av knallgas i hela sprängkammaren eller i ett gasmoln. En antändning av knallgasen i hela sprängkammaren orsakar förmodligen en mycket stor förödelse på ISO-bunkern. På grund av detta samt den låga sannolikheten för denna händelse blir en beräkning av denna eventuella explosion ointressant. Däremot är det större risk för att ett knallgasmoln bildas och att detta antänds.

En analys görs därför i form av två förenklade beräkningar på den eventuella explosion som bildas vid antändning av knallgasmolnet. I beräkningen förutsätts att endast ett moln bildas på grund av den lilla sannolikhet som finns för att flera kärl skall brisera samtidigt. Det antas också att all vätgas i tryckkärlet samlas i molnet. Dock kan beräkningarna ej ge ett tillförlitligt svar på om utrustningen kan ge upphov till en sprängkraft som alltid är lägre än ISO-bunkerns begränsning. Den mängd vätgas som kan läcka ut och bilda ett knallgasmoln, skall ej kunna bilda en explosion som överskrider bunkerns sprängkraftsbegränsning.

### 8.3.1 Jämförelse av energimängd

Ett tryckkärl antas brisera, vid maximalt tryck 1400 bar, och bilda knallgas som sedan antänds. En förenklad beräkning utförs där den begränsande energimängden hos 200 g TNT jämförs med den energimängd som finns i knallgasmolnet, vilket ger en snabb överblick.

Energimängden, per kilo vätgas, för en knallgasreaktion beräknas. Vätgasmängden hos ett tryckkärl vid maxtryck är känt vilket gör att energimängden hos knallgasmolnet kan beräknas. Se bilaga A4.1. I jämförelsen fås att energin i knallgasmolnet är mindre än den energi som motsvarar bunkerns begränsning. Dock kan fortfarande inga garantier ges utifrån detta.

### **8.3.2 Jämförelse av maximalt tryck i tryckvåg**

En förenklad beräkning utförs även för den tryckvåg som kan uppkomma om knallgasmolnet antänds. I en rapport, "Dimensionering av provningsbunker för gasgeneratorer" utförd av ÅF för Autoliv 2005, redovisas sprängkraftstester med olika massor av TNT. Där nämns det stötvågstryck som uppkommer vid en meters avstånd från explosionen.

En graf, i bilaga A figur A.1, över sambandet mellan det positiva övertrycket vid en tryckvåg, avståndet till explosionen och energimängden presenteras i "A New Set of Blast Curves from Vapor Cloud Explosion" i boken "Process safety progress" (22). Det positiva övertrycket uppkommer först i en tryckvåg, vilket sker när luften komprimeras. Det är också det största tryck som uppkommer i tryckvågen (4) (21). Detta tryck används i beräkningen för att få en uppfattning om hur stora volymer vätgas som krävs för att nå upp till bunkerns sprängkraftsbegränsning. Se bilaga A4.2.

Enligt beräkningen fås ett lägre tryck vid knallgasexplosionen än det som uppmättes vid provsprängning av 200 g TNT. Dock kan fortfarande inga garantier utlovas över hur stor kraften blir vid en eventuell explosion.

Trots att inga garantier kunde ges av de två beräkningarna, drogs ändå en slutsats som ej grundas på några konkreta bevis. På grund av att bunkern klarar av en dubbelt så stor sprängkraft mot vad den är begränsad för är risken att den skall skadas mycket liten. Därför är operatören med stor sannolikhet skyddad vid explosioner av den här storleken. Efter en explosion bör dock bunkern besiktigas för att säkerställa att inga bestående skador som kan försvaga den har uppstått.

## **8.4 Låg syrehalt**

Kvävgas är, som tidigare nämnt, också en farlig gas då den sänker syrehalten i luften. Trots att gasen endast är tänkt att förekomma i rörsystemet finns alltid risken för läckage. Syrehalten skall aldrig riskera att sjunka så lågt att det medför en risk med att gå in i rummet. Det rekommenderas att ha en högre syrehalt än 18 % för god arbetsmiljö. Dock finns en väldigt liten risk att sprängkammarens syrehalt skulle gå under denna gräns eftersom detta endast sker ifall hela kvävgasflaskan läcker och gasen ej vädras ut, se beräkningar i bilaga A5. Om syrehalten trots detta sänks till en halt mellan 18 % - 10 % blir konsekvensen, enligt företaget AGA, endast "kraftig minskning av fysiska och mentala förmågor utan att något onormalt uppmärksammas". Detta anses ej vara en allvarlig konsekvens och risken för att händelsen skall inträffa är låg. (10)

## 8.5 Höga tryck

För att sänka trycket i systemet på ett säkert sätt finns en avlastningsventil som leder gasen ut ur ISO-bunkern. På grund av användandet av vätgas krävs det även att ett utloppsrör kopplas på boostern vilket leder ut läckaget från denna. Även växelventilsystemet har ett utloppsrör, vilket tryckavlastar ventilen, som leder ut ur bunkern.

Vid överskridande av maximalt tillåtet tryck, ca 1400 bar, finns en säkerhetsventil i form av ett sprängbleck som går sönder och leder gasen direkt ut ur bunkern. Maxtrycket begränsas av rören och hur mycket tryck de tål, då dessa är de tryck känsligaste komponenterna.

Eftersom höga tryck kommer att uppträda i rör och andra komponenter, kan det av någon anledning finnas kvar tryck vid demontering av dessa. Därför väljs kopplingar som skall minimera risken för att delar ska flyga iväg och skada operatören. Kopplingarna placeras med fördel vid de komponenter som ofta skall demonteras.

## 8.6 Utformning

Det rekommenderas att ej gå in i rummet vid testkörning på grund av tidigare nämnda risker. Därför kommer dörren till testrummet att vara låst och en lampa kommer att blinka under pågående test.

Utrustningen skall utgöras av två konstruktioner, en bordsrigg och en vägganordning. Detta för att skydda vissa komponenter från eventuell explosion i sprängkammaren. Bordsriggen utformas så att den kan placeras i sprängkammaren. Vägganordningen placeras i den skyddade korridoren.

Krokarna för upphängning av skyddsväggarna och verktygen görs infällbara. Detta för att minska risken för skador på personal.

Vid strömavbrott finns en UPS som förser systemet med spänning i cirka en timme. Detta för att inte förstöra testet vid korta avbrott.

## 8.7 Säkerhetsinstruktioner från användarmanual

Eftersom alla risker inte elimineras, genom konstruktion och funktion, fastställs ett antal säkerhetsinstruktioner.

För att utrustningen skall kunna hanteras säkert måste den placeras i ett explosionssäkert utrymme. Säkerhetsinstruktionen ”OBSERVERA! Utrustningen skall placeras i en miljö som är anpassad att klara alla de säkerhetskrav som uppkommer vid explosion” utformas.

Montering och installation av rör skall utföras av behörig personal på grund av de höga tryck som uppkommer i utrustningen. Säkerhetsinstruktionen ”OBSERVERA! Rörinstallationen får endast utföras av personer som utbildats inom högtrycksinstallationer” utformas.

Behörig personal skall installera elen. Säkerhetsinstruktionen ”OBSERVERA! El-installation skall alltid utföras behörig installatör” utformas.

Eftersom att det finns flera risker med utrustningen skall denna endast hanteras av behörig personal. Säkerhetsinstruktionen ”OBSERVERA! Utrustningen får endast hanteras av utbildad personal” utformas.

Som tidigare nämnt är det viktigt att skölja systemet för att minimera syrehalten i rör och komponenter. Säkerhetsinstruktionen ”VIKTIGT! Måste skölja rör med kvävgas före testet startas och efter testet körts” utformas.

Eftersom höga tryck finns i systemet och varje komponent begränsas av ett maximalt tillåtet tryck måste säkerhetsventilen alltid fungera för att undvika skador på komponenter och operatör. Säkerhetsinstruktionen ”OBSERVERA! Använd aldrig maskinen om inte fungerande säkerhetsventil finns” utformas.

Som tidigare nämnt måste ventilationen vara påslagen för att kunna ventileras ut den eventuella gas som läckt från utrustningen till ISO-bunkern. Säkerhetsinstruktionen ”VIKTIGT! Vätgas är en explosiv gas. Se därför till att ventilationen är igång under hela provningsförfarandet” utformas.

På grund av alla risker som kvarstår vid användandet av utrustningen får ingen befinna sig i sprängkammaren under pågående test. Dock finns ett undantag, och det är vid läcksökning. Det anses säkert att gå in i sprängkammaren vid läcksökning på grund av att det sker med kvävgas vid jämförelsevis låga tryck mot komponenters och tryckkärls maximalt tillåtna tryck. Observera att detta ändå skall ske med stor försiktighet. Säkerhetsinstruktionen ”VIKTIGT! Ingen får befinna sig i utrymmet under pågående test” utformas.

Eftersom att all ström bryts vid nödstopp skall detta användas vid nödsituationer. Säkerhetsinstruktionen ”OBSERVERA! Vid nödsituation skall nödstopp användas” utformas.

Eftersom att höga tryck uppkommer i utrustningen är det viktigt att dessa tryck inte kvarstår vid demontering av rör och komponenter. Säkerhetsinstruktionen ”VIKTIGT! Kontrollera alltid att systemet är tryckavlastat innan komponenter, tryckkärl och rör kopplas bort från systemet” utformas.

På grund av risken att skada sig på krokarna, skall dessa fällas in efter användning. Säkerhetsinstruktionen ”NOTERA! Fäll bort verktygs- och skyddsväggs krokarna då de ej används” utformas.

## 9. SLUTSATSER

### 9.1 Resultat

Resultatet av arbetet är konstruktionen av en testutrustning med vilken två sorters testsekvenser kan utföras. Riskerna har minimerats genom konstruktion och säkerhetsinstruktioner. Ett förberedande underlag för CE-märkning har formulerats i form av ritningar, kretsscheman, riskanalys och användarmanual.

### 9.2 Diskussion

Projektet anses ha behandlat de delar som skulle behandlas. Det är dock svårt att veta om denna utrustning kommer att fungera även i praktiken då den ännu inte är monterad och installerad.

Några av komponentvalen kunde ha gjorts annorlunda. Eftersom mätkortet endast kan skicka signaler mellan 0-10V borde därför en annan modell av tryckregulator valts. Detta eftersom den valda regulatorn kräver en styrsignal i form av en ström, 4-20 mA. Självklart kunde en ny modell beställts men på grund av ekonomiska och tidsmässiga skäl åtgärdades detta istället med en spänning- strömmvandlare.

Mätkortet har endast fyra digitala utgångar. På grund av detta krävs tre stycken mätkort. Här borde det istället ha beställts ett mätkort som var mer anpassat efter önskat antal utgångar och ingångar.

Från början var det tänkt att endast normalt stängda ventiler skulle användas. Dock ändrades denna tanke eftersom vid nödstopp/strömavbrott skall systemet tryckavlastas med en normalt öppen avlastningsventil. De normalt stängda ventilerna till tryckkärlen behölls dock på grund av läckagerisken till sprängkammaren vid tidigare briserade tryckkärl.

På grund av projektets begränsade tidsram bestämdes ej typen för alla komponenter och därför definieras ett antal komponenter ej med namn i rapporten. Exempelvis tryckavlastande kopplingar, ett växelventilsystem, backventiler, munstycke för avlastningsrör och en säkerhetsventil med sprängbleck. Dock finns underlag för funktionen hos alla dessa beskrivna i rapporten. Eftersom tyngdpunkten i projektet ligger på underlaget till CE-märkningen och konstruktionen av utrustningen, var framtagning av typer för komponenterna inte det som prioriterades.

Under projektets gång har förslag på konstruktion och funktion växt fram ur varandra genom risktänkande samt diskussion med handledare och operatörer. Därmed har inga valmatriser använts.

Många av beräkningarna förenklades och möjlighet till fördjupningar för dessa finns. Beräkningarna gjordes för extremfall då dessa var lättare att förutse samt beräkna. Trots att vissa av beräkningarna resulterade i att risker finns påstås dessa vara låga i rapporten. Detta eftersom sannolikheten att de skall inträffa är liten. Dock borde kanske fler beräkningar, på de fall som har

högre sannolikhet att inträffa, utförts för en klarare uppfattning av storleken på riskerna. Detta skulle dock kräva mycket tid och avancerade beräkningar. Observera att ingen slutgiltig värdering av varken konsekvenserna av riskerna eller sannolikheterna att de skall inträffa har skett inom detta projekt. Detta sker i den slutgiltiga riskanalysen som utförs av ansvarig på Autoliv.

Risker finns alltid med höga tryck och vätgas. Alla dessa risker kunde ej elimineras och därför är det viktigt att följa säkerhetsinstruktionerna som skall bifogas i användarmanualen för utrustningen.

En mycket djupare analys, för gasmolnsexplosionens påverkan på ISO-bunkern, skulle behövts för att bevisa säkerheten vid denna situation. En analys av detta slag skulle dock vara mer anpassad för en kemiingenjör eller liknande, samt att denna analys skulle bli så tidskrävande att det kunde bli ett eget projekt.

Riskanalysen och användarmanualen kunde, som tidigare nämnt, endast påbörjas och ej slutföras. En mall för användarmanualen har skapats och några säkerhetsinstruktioner har formulerats. Endast säkerhetsinstruktionerna är bifogade i rapporten. Alla risker med utrustningen, som tidigare nämnts i rapporten, skulle sammanställas och värderas i ett Excel-dokument. Detta dokument skall senare fungera som en grund, för Autoliv, vid den slutgiltiga riskanalysen. På grund av att riskskattningen ej utförts ännu, är riskanalys-dokumentet ej bifogat i rapporten.

### **9.3 Rekommendationer**

Om ett liknande projekt skall utföras rekommenderas att ha en tydlig kravspecifikation av vad som önskas. Detta för att underlätta planering och utförande av projektet.

Det rekommenderas att ta hänsyn till alla de faktorer som påverkar en explosion, se kapitel 8.3, vid en djupare analys av gasmolnsexplosionen.

## REFERENSER

1. ATEX och produkter, Elsäkerhetsverket, 2014,  
[http://www.elsakerhetsverket.se/sv/Produktsakerhet/Produkter/ATEX\\_och\\_produkter/](http://www.elsakerhetsverket.se/sv/Produktsakerhet/Produkter/ATEX_och_produkter/) (Acc 2014-05-28)
2. Deflagration, Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/lang/deflagration> (Acc 2014-05-28)
3. Detonation, Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/lang/detonation> (Acc 2014-05-28)
4. Tryckvåg, Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/enkel/tryckvåg> (Acc 2014-05-28)
5. Skogsmo.J, Nordängers.S: Väteförspredning – mekanismer, orsaker och åtgärder, IVF-skrift 97823, Mölndal 1997.
6. Väte, Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/lang/väte/347979> (Acc 2014-05-28)
7. Tabell 1 för vätgas, bilaga A, framtagen med Refprop 9.1.
8. Väte: Universums vanligaste ämne, AGA, 2012,  
[http://www.aga.se/international/web/lg/se/like35agase.nsf/docbyalias/gasschool\\_h\\_prop](http://www.aga.se/international/web/lg/se/like35agase.nsf/docbyalias/gasschool_h_prop) (Acc 2014-05-28)
9. Tabell 1 för kvävgas, bilaga A, framtagen med Refprop 9.1.
10. Inerta gaser, AGA, 2012,  
[http://www.aga.se/International/Web/LG/SE/like35agase.nsf/docbyalias/nav\\_inert\\_gases](http://www.aga.se/International/Web/LG/SE/like35agase.nsf/docbyalias/nav_inert_gases) (Acc 2014-05-28)
11. Säkerhetsdatablad Nitrogen, Air liquide, 2008,  
<http://www.airliquide.se/file/otherelement/pj/nitrogen%20gas,%202008-09-35501.pdf> (Acc 2014-05-28)
12. Gas släcker silobränder, AGA, 2009,  
[http://www.aga.se/international/web/lg/se/like35agase.nsf/docbyalias/cust\\_high\\_lantm](http://www.aga.se/international/web/lg/se/like35agase.nsf/docbyalias/cust_high_lantm) (Acc 2014-05-28)
13. Knallgas, Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/lang/knallgas> (Acc 2014-05-28)
14. Buckel J.W, Chandra S: Hot wire ignition of hydrogen-oxygen mixtures, Vol. 21, no.1, sid. 39-44, 1996.
15. CE-märket star för hälsa, miljö och säkerhet, Arbetsmiljöverket, 2014,  
<http://www.av.se/teman/marknadskontroll/allman/> (Acc 2014-05-28)
16. Riskhantering för att förebygga miljöolyckor, Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2010,  
<http://www.lansstyrelsen.se/jonkoping/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och->

[klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/miljoskydd/miljofarlig-verksamhet/riskhanteringforattforebyggamiljoolyckor.pdf](#) (Acc 2014-05-28)

17. EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2006/42/EG om maskiner och om ändring av direktiv 95/16/EG), Europaparlamentet och europeiska unionens råd, 2006, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0024:0086:sv:PDF> (Acc 2014-05-28)

18. Tryckbärande Anordningar, Arbetsmiljöverket, 2011, [http://www.av.se/dokument/afs/afs1999\\_04.pdf](http://www.av.se/dokument/afs/afs1999_04.pdf) (Acc 2014-05-28)

19. ATEX-RIKTLINJER, Elsäkerhetsverket, 2007, [http://www.av.se/dokument/Teman/marknadskontroll/ATEXTillv\\_direktiv.pdf](http://www.av.se/dokument/Teman/marknadskontroll/ATEXTillv_direktiv.pdf) (Acc 2014-05-28)

20. Borman G.L & Ragland K.W: Combustion Engineering, McGraw Hill Companies, USA 1998

21. Dharaheepathy M.W, Keshava M.N, Santhakumar Rao A.R: Critical distance for blast-resistant design, Computers & Structures, Vol.54, No.4, sid 587-595, 1995.

22. Tang M.J, Baker Q.A: A New Set of Blast Curves from Vapor Cloud Explosion, Process safety progress, [http://www.hysafe.org/science/eAcademy/docs/JESSFCH2011CourseworkPrimer/DahoeAE\\_TutorialOnDeflagrationsAndDetonations.pdf](http://www.hysafe.org/science/eAcademy/docs/JESSFCH2011CourseworkPrimer/DahoeAE_TutorialOnDeflagrationsAndDetonations.pdf), vol.18, no.3, sid 237-238, 1999.

### **Referenser till Bilagor:**

23. Trotyl, Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/lang/trotyl> (Acc 2014-05-28)

24. Periodiska systemet, Nationalencyklopedin, [http://www.ne.se/static/neanimations/77931\\_periodiskasystemet/index.jsp](http://www.ne.se/static/neanimations/77931_periodiskasystemet/index.jsp) (Acc 2014-05-28)

25. Vatten, Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/lang/vatten> (Acc 2014-05-28)

26. Tang M.J, Baker Q.A: A New Set of Blast Curves from Vapor Cloud Explosion EXPERIMENT, Process safety progress, [http://www.hysafe.org/science/eAcademy/docs/JESSFCH2011CourseworkPrimer/DahoeAE\\_TutorialOnDeflagrationsAndDetonations.pdf](http://www.hysafe.org/science/eAcademy/docs/JESSFCH2011CourseworkPrimer/DahoeAE_TutorialOnDeflagrationsAndDetonations.pdf), vol.18, no.3, sid 235, 1999.



## BILAGA A - BERÄKNINGAR

Observera att i alla beräkningar antas konstant rumstemperatur, 293 K.

Tabeller över densiteten för kvävgas och vätgas i olika tryck och konstant rumstemperatur tas fram i programmet Refprop 9.1.

Tabell 1 – Densiteter för vätgas och kvävgas vid olika tryck.

Tryck [Mpa]	Densitet Vätgas [kg/m <sup>3</sup> ]	Densitet Kvävgas [kg/m <sup>3</sup> ]
0	0	0
0,1	0,0827	1,1502
10	7,8004	114,91
20	14,714	218,68
30	20,849	302,61
40	26,32	368,3
50	31,231	420,4
60	35,669	462,84
70	39,706	498,34
80	43,402	528,73
90	46,804	555,23
100	49,953	578,71
110	52,882	-
120	55,62	-
130	58,188	-
140	60,606	-
150	62,892	-

### A1. Mängd vätgas i hela sprängkammaren vid läckage från gasflaska

Beräkningen undersöker ifall vätgashalten 1,5 % kan överstigas i sprängkammarens totala volym 170,2 m<sup>3</sup>. Detta sker genom att beräkna utefter de värsta förutsättningarna, vilket är om hela vätgasflaskan läcker ut i rummet och ej ventileras bort.

<b>Flaskans tryck:</b>	200 bar.
<b>Flaskans volym:</b>	50 liter = 0,05 m <sup>3</sup>
<b>Densitet H<sub>2</sub> vid 200 bar:</b>	14,714 kg/m <sup>3</sup> , tabell 1.
<b>Densitet H<sub>2</sub> vid 1 bar (atmosfärstryck):</b>	0,0827 kg/m <sup>3</sup> , tabell 1.
<b>Rummets totala volym:</b>	170,2 m <sup>3</sup>

Detta leder till att massan vätgas som finns i gasflaskan beräknas enligt:

$$(ekv. A1) \quad 14,714 \cdot 0,05 = 0,7357 \text{ kg}$$

1,5 % av rummets totala volym beräknas enligt:

$$(ekv. A2) \quad 170,2 \cdot 0,015 = 2,553 \text{ m}^3$$

Detta leder till att vätgasens volym i rummet blir 2,553 m<sup>3</sup> vid en vätgaskoncentration på 1,5 %.

Massan vätgas som behövs för 1,5 % vätgaskoncentration i rummet blir då:

$$(ekv. A3) \quad 2,553 \cdot 0,0827 = 0,2111 \text{ kg}$$

Massorna jämförs och slutsats dras att  $0,7357 > 0,2111$  och därmed kan koncentrationen 1,5 % uppnås i rummet vid ovan nämnda förhållanden.

## A2. Mängd vätgas i hela sprängkammaren vid brisering av tryckkärl

Eftersom tryckkärlen riskerar att brisera undersöks om den totala vätgashalten i rummet kan gå över 1,5 % av denna orsak. Beräkningar utförs på det värsta fallet, vilket är om alla tryckkärl briserar och ingen utventilation sker ur sprängkammaren. I beräkningen antas det att då tryckkärlen briserar är det den volym ovanför ventilen som har betydelse, det vill säga tryckkärlens volym och rörvolymen från tryckkärl till ventil.

Tryckkärlens volym väljs med god marginal till det nuvarande största tryckkärl som finns i gasgeneratorerna hos Autoliv. Rörvolymen väljs efter det, i avsnitt 6.1, föreslagna HiP-röret och dess största valbara dimensioner. Detta på grund av att oavsett vilken längd som väljs skall dessa riskberäkningar stämma. Observera att eftersom HiP-röret endast är ett förslag kan giltigheten på dessa beräkningar ändras om ett annat rör med andra dimensioner väljs.

Eftersom densiteten för vätgasen varierar med avseende på trycket kan ej den allmänna gaslagen användas. Istället fås densiteten ur datorprogrammet Refprop 9.1. Ett tryck på 1400 bar används i beräkningen.

<b>Volymen för ett tryckkärl:</b>	$100 \text{ cm}^3 = 0,0001 \text{ m}^3$
<b>Innerdiameter på Hip-rör:</b>	0,0027686 m
<b>Längden på röret:</b>	0,3 m
<b>Densitet för vätgas vid 1400 bar:</b>	60,606 kg/m <sup>3</sup> , se tabell 1

Arean för röret beräknas enligt:

$$(ekv. A4) \quad \pi \frac{0,0027686^2}{4} = 0,00000602 \text{ m}^2$$

Volymen för röret fås enligt:

$$\text{(ekv. A5)} \quad 0,00000602 \cdot 0,3 = 0,000001806 \text{ m}^3$$

Den totala volymen för tryckkärlet + röret fås genom:

$$\text{(ekv. A6)} \quad 0,000001806 + 0,0001 = 0,000101806 \text{ m}^3$$

Massan fås genom:

$$\text{(ekv. A7)} \quad 0,000101806 \cdot 60,606 = 0,006170054 \text{ kg}$$

Vid 1400 bar och nio briserade tryckkärl fås massan vätgas:

$$\text{(ekv. A8)} \quad 0,006170054 \cdot 9 = 0,055530486 \text{ kg}$$

Massan vätgas som behövs för 1,5 % vätgaskoncentration i rummet är, enligt tidigare beräkning i ekvation A3, 0,2111 kg.

Massorna jämförs och slutsatsen blir att eftersom  $0,2111 \text{ kg} > 0,055530486 \text{ kg}$  kommer det ej att vara någon risk för vätgaskoncentrationen att överstiga 1,5 % i sprängkammarens totala volym då nio tryckkärl briserar.

### A3. Knallgasbildning i rör

En beräkning utförs för att undersöka vid vilket tryck vätekoncentrationen i rörsystemet överstiger 96 % och risken för knallgasbildning elimineras. För att förenkla beräkningen antas en ursprunglig syrekoncentration i rören på 100 %. Egentligen ligger denna på 21 % och därmed kommer denna beräkning att leda till ett överdrivet marginellt resultat. Vid en koncentration av 96 % vätgas antas därför en koncentration av 4 % syrgas. Förhållandet mellan tryck och volym antas också vara linjärt på grund av de låga tryck som behandlas.

$$\text{Rörarean (enligt ekvation A4):} \quad 0,00000602 \text{ m}^2$$

En formel ställs upp för att hitta den mängd vätgas som skall tillsättas för att nå en syrgaskoncentration på 4 %.

$$\text{(ekv. A9)} \quad \frac{0,00000602}{x} = 0,04 \rightarrow x = \frac{0,00000602}{0,04} = 0,0001505 \text{ m}^3$$

En formel ställs upp, ekvation A10, för att hitta det antalet gånger som volymen behöver dubbleras för att komma upp i den tillsatta vätgasvolymen:

$$\text{(ekv. A10)} \quad 0,00000602 \cdot 2^x = 0,0001505 \text{ m}^3 \rightarrow x = 4,644 \text{ gånger}$$

Med andra ord skall också trycket som börjar på ca 1 bar dubblas 4,644 gånger, vilket ger:

$$(ekv. A11) \quad 1 * 2^{4,644} = 24,99999 \approx 25 \text{ bar}$$

Slutsatsen av denna beräkning är att vid högre tryck än 25 bar kommer syrehalten att vara så pass låg att ingen knallgas kan bildas i rören.

## A4 ISO-bunkerns sprängkraftsbegränsning

### A4.1 Jämförelse av energimängder

I denna beräkning antas ett tryckkärl brisera, vid maximalt tryck 1400 bar, och bilda ett knallgasmoln som antänds. Den mängd vätgas som finns i knallgasmolnet beräknas och jämförs sedan med den mängd vätgas som behövs vid en knallgasreaktion som motsvarar energin i 200 g TNT.

**Vid förbränning av TNT frigörs:** 5,0 MJ/kg (23)

För att räkna fram den energi per kg vätgas, som frigörs vid antändning av knallgasen, tas molmassa för vätgas och bildningsentalpi för vatten, därmed knallgas, fram.

**Molmassa H<sub>2</sub>:** 2,016 g/mol (24)

**Bildningsentalpi för vatten/knallgas:** 286 kJ/mol (25)

Detta ger i sin tur energimängden för en knallgasreaktion per gram vätgas:

$$(ekv. A12) \quad Q_{H_2} = \frac{286}{2,016} = 141,865 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}$$

En formel, ekvation A13, tas fram för att kunna räkna ut hur stor massa som knallgasen behöver innehålla för att motsvara energimängden hos 200 g TNT.

$m_{TNT}$  = massan för TNT = 200 g = 0,2 kg

$Q_{TNT}$  = energimängd för TNT = 5,0 MJ/kg

$Q_{H_2}$  = energimängden för H<sub>2</sub> = 141,865 MJ/kg

Reaktionerna antas ha effektiviteten 100 % för marginal i resultatet.

$$\alpha_{TNT} = \alpha_{H_2} = 1 \quad (26)$$

$$(ekv. A13) \quad m_{TNT} \cdot Q_{TNT} \cdot \alpha_{TNT} = m_{H_2} \cdot Q_{H_2} \cdot \alpha_{H_2}$$

$$(ekv. A14) \quad m_{H_2} = \frac{m_{TNT} \cdot Q_{TNT}}{Q_{H_2}}$$

Värden in i A14:

$$m_{H_2} = \frac{0,2 \cdot 5,0 \cdot 10^6}{141,865 \cdot 10^6} = 0,007048955 \text{ kg} \rightarrow m_{H_2} = 7,0 \text{ g}$$

Detta innebär att 7,0 gram vätgas behövs för att få en knallgasreaktion som motsvarar 200 g TNT i energi.

För att räkna ut den mängd vätgas som finns i ett eventuellt knallgasmoln beräknas:

Den totala volymen för tryckkärlet + röret är (enligt ekvation A6)  $0,000101806 \text{ m}^3$ . Den massa vätgas som motsvarar ett tryck på 1400 bar och ovan nämnd volym är  $0,006170054 \text{ kg}$  enligt ekvation A7. Detta innebär att mängden vätgas i ett eventuellt knallgasmoln är 6,17 gram.

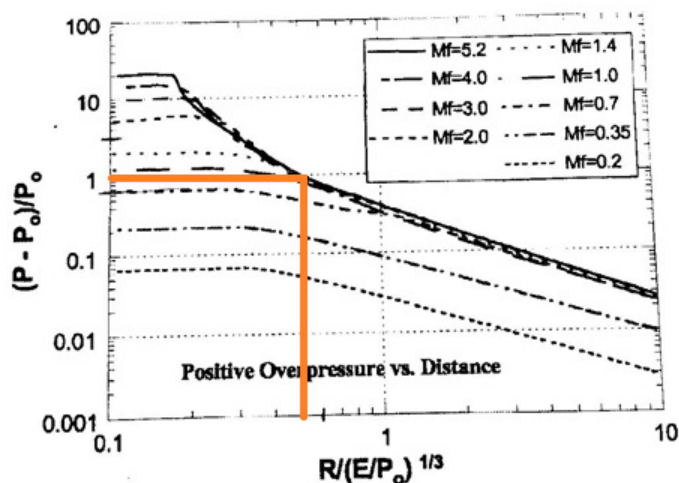
Sannolikheten för att två tryckkärl eller fler skulle brisera och bilda moln exakt samtidigt anses vara så liten att det endast räknas på en teststation.

Jämförelse mellan massorna ger att  $7,0 \text{ g} > 6,17 \text{ g}$ . Slutsatsen av denna beräkning blir att energin blir lägre vid ett briserat tryckkärl och knallgasexplosion än vid 200 g TNT som är bunkerns begränsning.

#### A4.2 Jämförelse av tryckvåg

Eftersom trycket i tryckvågen skall jämföras med experimentet, som presenteras i boken "Process safety progress" (22), behövs energimängden för den vätgas som finns i tryckkärl och rör vid 1400 bar.

Den massa vätgas som motsvarar ett tryck på 1400 bar och ovan nämnd volym är  $0,006170054 \text{ kg}$  enligt ekvation A7. Därmed fås energimängden för vätgasen i tryckkärl och rör vid 1400 bar enligt:



Figur A.1 – Denna graf visar sambandet mellan det positiva övertrycket vid en tryckvåg, avståndet till explosionen, energimängden i vätgasen och flamhastigheten. Tryckvågen är orsakad av explosion med knallgas.

X-axeln beräknas med följande formel:

$$(ekv. A15) \quad \frac{R}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{\frac{1}{3}}}$$

R= avståndet till det objekt som undersöks, i detta fall ISO-bunkerns vägg. Denna väljs till 1 m eftersom stötvågstrycket vid 200 g TNT är uppmätt från 1 m avstånd enligt rapporten ”Dimensionering av provningsbunker för gasgeneratorer”.

E=energimängd

P<sub>0</sub>=atmosfärstryck = 101,325 kPa

Energimängden för vätgasen i ett tryckkärl beräknas:

$$(ekv. A16) \quad 0,006170054 \cdot 120 \cdot 10^6 = 740\,406,48 \text{ J}$$

Med svaret från ekvation A16 fås ett värde på x-axeln genom:

$$(ekv. A17) \quad \frac{1 \text{ m}}{\left(\frac{740406,48 \text{ J}}{101,325 \text{ kPa}}\right)^{\frac{1}{3}}} = 0,515326094$$

Eftersom flamhastigheten, M<sub>f</sub>, är okänt antas ett maximalt värde för marginal. Detta leder till att y-axelns värde hamnar på cirka 1.

Enligt ekvationen för y-axeln erhålls maximalt tryck, P, för tryckvågen:

$$(ekv. A18) \quad \frac{(P-P_0)}{P_0} = 1 \rightarrow P = 101,325 \cdot 10^3 \cdot 2 = 202,65 \text{ kPa}$$

Enligt rapporten ”Dimensionering av provningsbunker för gasgeneratorer”, från 2005 utfört av ÅF för Autoliv, uppmättes stötvågstrycket på en meters avstånd från explosionen, för 200 g TNT, till 407 kPa.

En jämförelse mellan stötvågstrycken ger att 407 kPa > 202,65 kPa. Slutsatsen av denna beräkning blir att trycket blir lägre vid ovan nämnda knallgasexplosion än en explosion med 200 g TNT.

### **A5 Mängd kvävgas i hela sprängkammaren vid läckage från gasflaska**

Eftersom att låga syrehalter kan förekomma vid användandet av kvävgas görs en beräkning på om risken finns att gå under 18 % syre i hela sprängkammaren. Beräkningen utgår ifrån det värsta fallet, vilket är om hela kvävgasflaskan läcker ut i rummet och ingen ventilerings sker ut ur ISO-bunkern.

Luften antas innehålla 21 % syre och 79 % kvävgas. Egentligen innehåller luften 78 % kvävgas och 1 % övrig gas. Eftersom den kritiska syrehalten är 18 % antas syrehalten ha sjunkit med 3 % och ersatts av kvävgas.

<b>Flaskans tryck:</b>	200 bar.
<b>Flaskans volym:</b>	50 liter = 0,05 m <sup>3</sup>
<b>Densiteten för kvävgas vid 1 bar (atmosfärstryck):</b>	1,1502 kg/m <sup>3</sup> , se tabell 1.
<b>Densiteten för kvävgas vid 200 bar:</b>	218,68 kg/m <sup>3</sup> , se tabell 1.

Den massa kvävgas som finns i gasflaskan fås genom:

$$\text{(ekv. A19)} \quad 218,68 \cdot 0,05 = 10,934 \text{ kg}$$

3 % av rummets totala volym räknas ut genom:

$$\text{(ekv. A20)} \quad 170,2 \cdot 0,03 = 5,106 \text{ m}^3$$

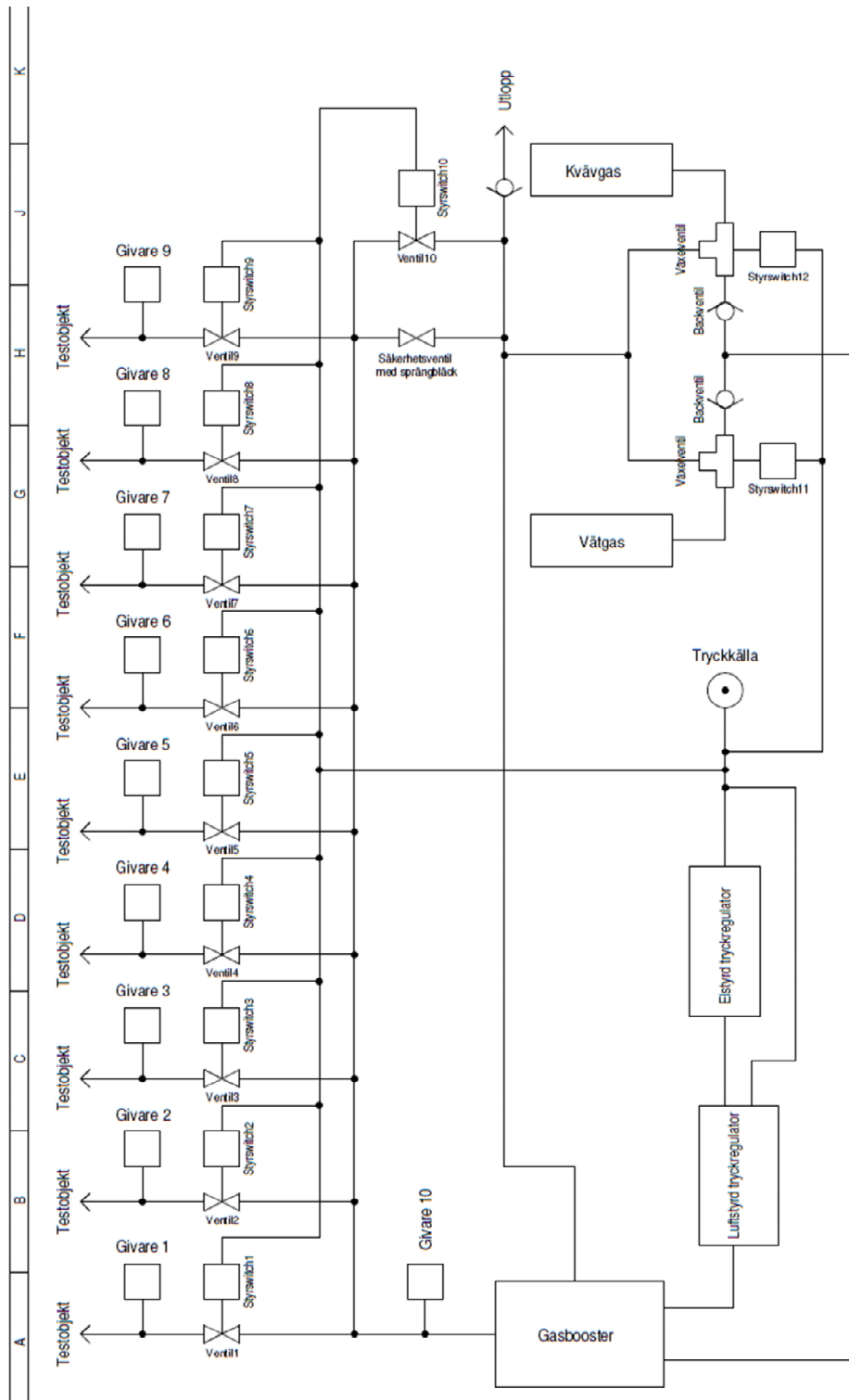
Den massa kvävgas som behövs för att sänka syrehalten med 3 % fås genom:

$$\text{(ekv. A21)} \quad 5,106 \cdot 1,1502 = 5,8729212 \text{ kg}$$

Jämförelse mellan massorna ger att  $10,934 > 5,8729212$  kg och slutsatsen blir att det är möjligt att få en syrehalt under 18 %.

# BILAGA B - KRETSSCHEMAN

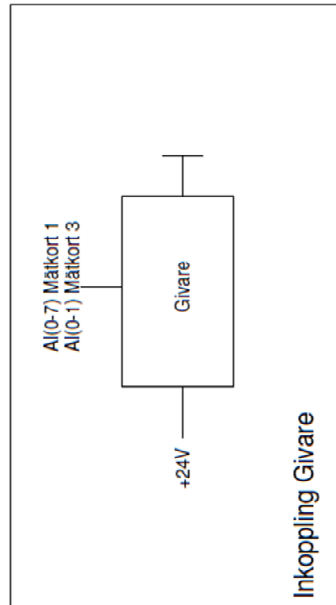
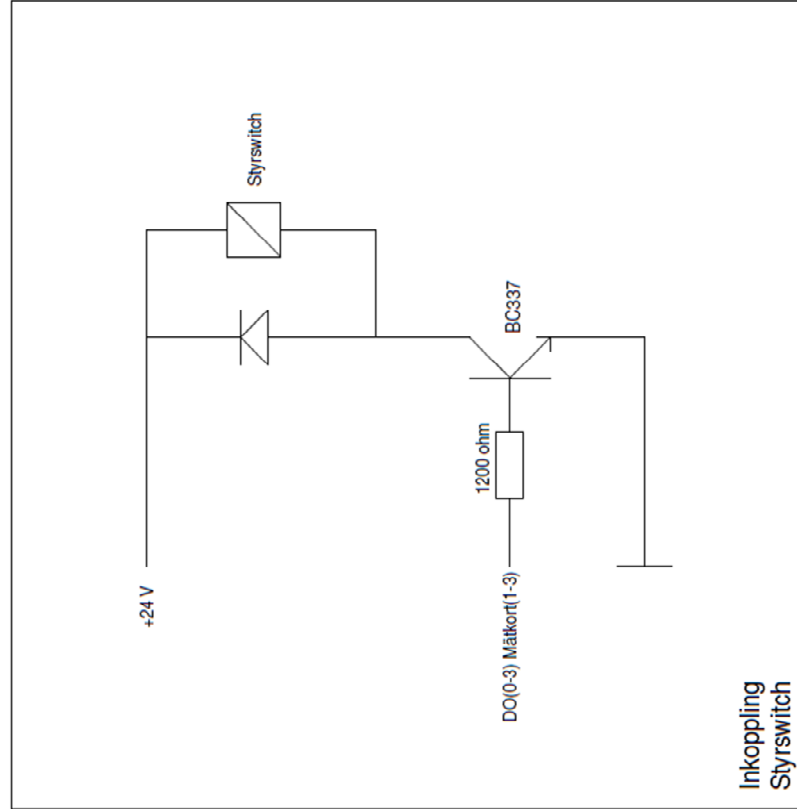
## B1. Pneumatiskt kretsschema



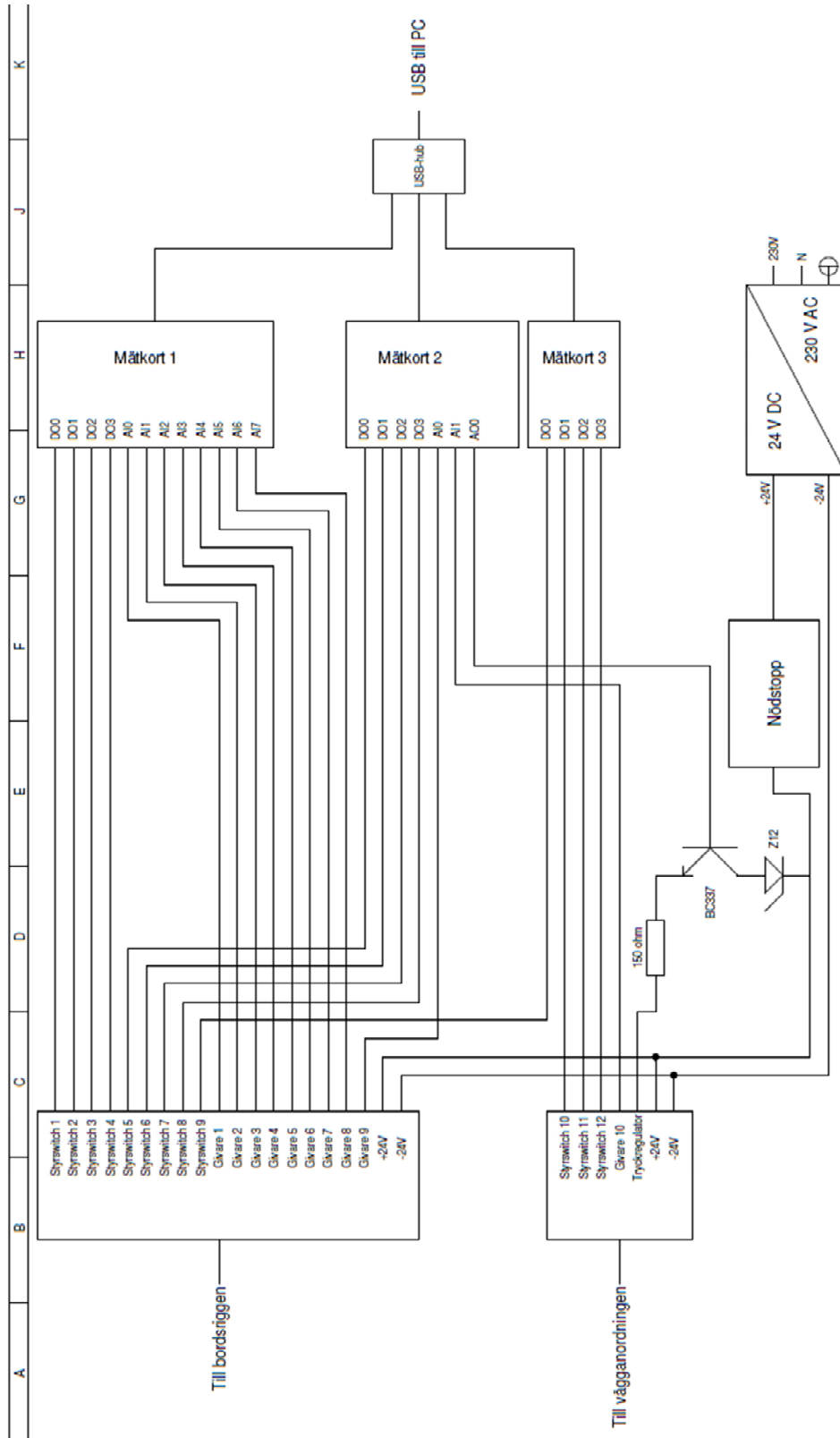


## B2. Inkoppling av styrswitch och givare

A B C D E F G H J K

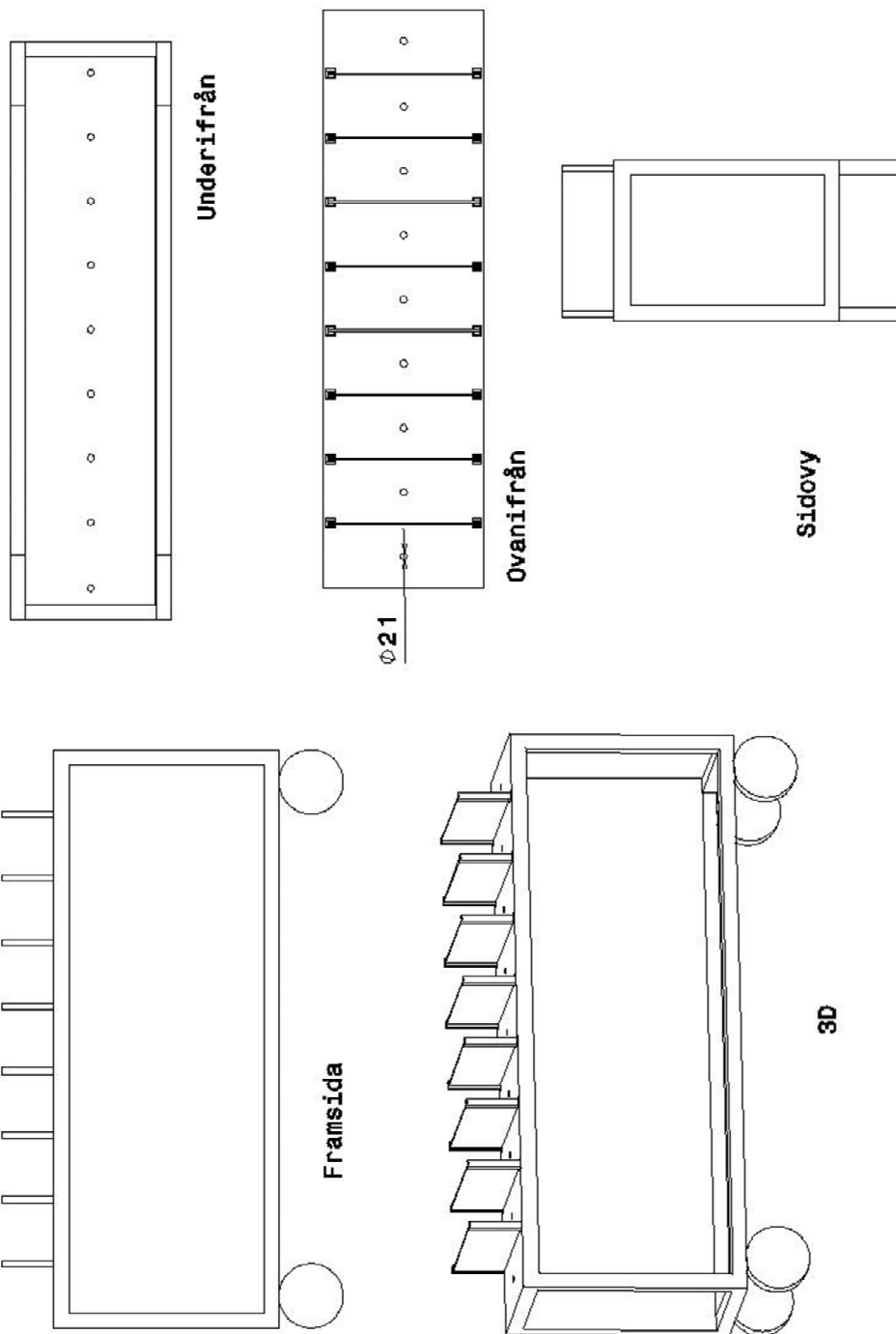


### B3. Elskåp

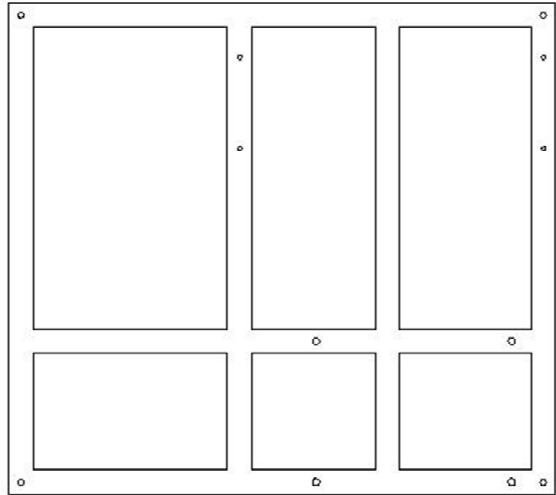


# BILAGA C – CAD – RITNINGAR

## C1. Bordsriggen



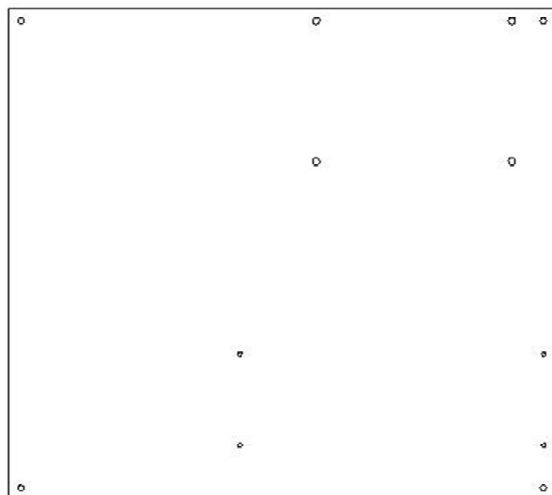
## C2. Väggarordning



**Baksida**



**Sidan**



**Framsida**