



Konstruktion och utveckling av testrigg

Enhet för tryck- och flödestest av spindeldocka

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

JOHN ALKEMARK

JOHAN FLINK

Institutionen för Tillämpad mekanik

Avdelningen för dynamik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2014

Examensarbete 2014:03

EXAMENSARBETE 2014:03

Konstruktion och utveckling av testtrigg

Enhet för tryck- och flödestest av spindeldocka

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

JOHN ALKEMARK

JOHAN FLINK

Institutionen för Tillämpad mekanik

Avdelningen för dynamik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2014

Konstruktion och utveckling av testrigg
Enhet för tryck- och flödestest av spindeldocka

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

JOHN ALKEMARK

JOHAN FLINK

© JOHN ALKEMARK, JOHAN FLINK, SVERIGE 2014

Examensarbete 2014:03 ISSN 1652-9901

Institutionen för Tillämpad mekanik

Avdelningen för dynamik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Enhet för tryck- och flödestest av spindeldocka, färdig produkt.

Tryckeri/Institutionen för Tillämpad mekanik

Göteborg, Sverige 2014

FÖRORD

Detta examensarbete är utfört vid företaget Yamazaki Mazak i Worcester, Storbritannien. Arbetet utfördes som en del utav Maskiningenjörsprogrammet, konstruktionsinriktning, vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng per person av utbildningens 180 hp.

Vi vill här passa på att rikta ett stort tack för det varma och hjälpsamma bemötande vi fått av all personal på Mazak. Speciellt tack riktas till våra handledare Bruno Polesel och Trevor Burgess för den support vi fått under arbetets gång samt er ansträngning att skraddarsy ett projekt passande vår utbildning och våra intressen. Tack riktas också till Robert Alkemark som förmedlade kontakten med Mazak och Stuart Astley som undersökte möjligheterna för ett examensarbete vid Mazak. Slutligen vill vi även passa på att tacka Lawrence Savage för persoligt och lärorikt engagemang rörande projektets konstruktionsfas samt John Dec för hjälpsamhet rörande projektets produktionsfas.

John Alkemark

Johan Flink

Worcester, Storbritannien

Juni 2014

SAMMANFATTNING

Yamazaki Mazak är ett familjeägt Japanskt företag och en av världens ledande tillverkare av CNC-maskiner. En av maskinerna som tillverkas i Worcester, UK, är den egenutvecklade modellen, VTC 800, vilken är en 5-axlig vertikal fräs. Maskinen kan fräsa avancerade geometrier till mycket hög precision.

Med ett spindelvarvatal på 18 000 [rpm], motoreffekt på 35 [kW] och precision ner på mikrometer nivå är till- och frånflödet av kylarvätska, smörjolja och tryckluft till spindeln essentiellt för att vidmakthålla önskad funktion. Maskinens spindeldocka, vilken är den maskindel vari spindeln är fäst, spelar en avgörande roll vid transport av fluiderna. Fluidtransporten sker genom elva borrarade kanaler vilka efter bearbetning måste kontrolleras för att säkerställa erforderligt flöde genom spindeldockan.

Det föregående flödestestet av spindeldockan var svåröverskådligt, kladdigt och otillförlitligt. Risken för fel var stort p.g.a. den mänskliga faktorn. Detta medförde att defekta komponenter levererades till kund. Att åtgärda felen ute hos kund är kostsamt och påverkar företagets renommé.

För att eliminera antalet defekta spindeldockor konstruerades och tillverkades en testrigg som automatiskt testar de borrarade kanalerna.

Inledningsvis transporteras trycksatt olja genom en kanal åt gången. En flödesmätare läser av flödet i var kanal och skickar analoga signaler till ett kontrollerkort. Kontrollerkortet tolkar flödet och godkänner eller avslår borrarningen. När samtliga kanaler blivit godkända trycksätts spindeldockan för att upptäcka sprickor, läckande pluggar eller porositet.

Den fullt fungerande testriggen har initialt påvisat mycket goda resultat då den felfritt upptäckt fabulerade felaktigheter.

Då testen utförs under statiska förhållanden med förbestämda tryck innebär det att flödesberäkningar kunnat utelämnas vilket sparar både tid och pengar.

Referensintervallet för acceptabelt flöde är satt utifrån empiriska observationer från en spindeldocka. Framöver bör flöden från flera spindeldockor utföras och loggas för att få fram fördelningskurvor och därigenom bestämma ett noggrannare referensintervall.

SUMMARY

Yamazaki Mazak is a family owned Japanese company and one of the world's leading machine tool manufacturers. One machine, which is manufactured in Worcester UK, is the internally developed 5-axis vertical milling machine, VTC800. The machine is capable to mill advanced geometries at very high precision.

With a spindle rotation speed at 18 000 [rpm], power output at 35 [kW] and a precision at micrometer level, the in- and out flow of coolant, lubricant and pressurized air to the spindle are of utter importance to maintain expected accuracy. The machine's spindle headstock, which is the part that carries the revolving spindle, plays a crucial part in the transport of fluids. The fluids are transported through eleven cross drilled channels, which has to be checked after manufacturing to ensure sufficient flow.

The previous quality control was difficult to comprehend, messy and unreliable. The risk of human error was impending, which resulted in that faulty components had been assembled onto machines and delivered to customers. Resolving this is costly and hurts the company's reputation.

A test rig, that automatically tests the cross drillings, was designed and built to eliminate the number of faulty spindle headstocks that reached customers.

Initially, pressurized oil is transported through one drilling at a time. A flow meter reads the flow in every drilling and sends analog signals to a controller board. The controller board analyzes the signals and approves or declines the drilling. When all drillings have been approved a high pressure test is initiated to discover cracks/porosity in the casting or leaks in plugs.

The fully functional test unit that has been developed has shown good results as it has been stress tested.

Thus the tests are implemented during static circumstances with preset pressures, time consuming calculations and simulations has been omitted to save both time and money.

The reference interval for acceptable flow is based from empiric observations of *one* spindle headstock. Later, several headstocks should be flow tested to generate a distribution curve, and based on that study, determine a more accurate reference interval.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	3
1.3 Avgränsningar.....	3
1.4 Precisering av frågeställning.....	3
2. TEORETISK REFERENSRAM.....	4
2.1 Bernoullis ekvation - Statiskt, Dynamiskt och Stagnationstryck.....	4
2.2 K-faktor.....	5
2.3 Ohms lag	7
2.4 Kirchhoffs spänningslag	7
2.5 Effekt.....	8
2.6 Värmeledningsförmåga.....	9
2.7 Transistor	10
3. METOD	15
3.1 Arbetsgång	15
3.2 Laborationer.....	16
3.2.1 Analys av befintlig testutrustning	17
3.2.2 Test av magnetventiler och flödesmätare	17
3.2.3 Test av riggdimensioner och ergonomi.....	18
3.2.4 Bockningsdemonstration.....	18
3.2.5 Test av magnetventil med transistor och voltregulator.....	19
3.3 Teoretisk kunskapsinsamling.....	20
4. PROBLEMIDENTIFIKATION	21
4.1 Utvärdering av befintlig utrustning.....	21
4.2 Kravspecifikation.....	24
5. KONSTRUKTION	26
5.1 Konceptgenerering.....	26
5.1.1 Manual mechanical unit.....	26
5.1.2 Semi automatic unit	26
5.1.3 Fully automatic unit	27
5.1.4 Hybrid unit.....	27

5.2 Val av koncept	27
5.2.1 Pughs matris och Pughs ballonger	27
5.2.2 Ekonomi	29
5.2.3 Prototyp	32
5.2.4 Valt koncept	32
5.3 Konstruktion av mekaniskt system	32
5.3.1 Rörsystem	33
5.3.2 Rörkopplingar	34
5.3.3 Ventiler	35
5.3.4 Flödesmätare	36
5.4 Konstruktion av riggstomme.....	36
5.4.1 Balkstomme	37
5.4.2 Plåtskärmar	37
5.4.3 Kontrollpanel	38
5.4.4 Spillbricka	40
5.4.5 CAD-modell.....	41
5.5 Automation och Elektronik.....	43
5.5.1 Mikrokontrollerkort	43
5.5.2 Flödesmätare	45
5.5.3 Magnetventil	46
5.5.4 Transistor	46
5.5.5 Spänningsreglerare.....	50
5.5.6 Lysdioder	53
5.5.7 Nätaggregat	55
5.5.8 Elschema, kontroll och färdigställande.....	55
5.5.9 Programmering	57
6. TILLVERKNING OCH FUNKTIONSFÄRDIGSTÄLLANDE.....	58
6.1 Tillverkning och montering	58
7. SLUTSATS.....	67
7.1 Verifikation av resultatet.....	67
7.2 Förbättringar	68
KÄLLFÖRTECKNING.....	70

BETECKNINGAR

Term/ förkortning	Betydelse
I/O	Ingång/ Utgång (Input/ Output)
Vcc	Positiv matningsspänning
Pinnar	In- och utgångar (fysiska)
VDC	Volt - Likström (Volt-Direct Current)
ROI	Avkastning på investering (Return on investment)

1. INLEDNING

Yamazaki Mazak är ett familjeägt japanskt företag grundat 1919 i Nagoya, Japan. Företaget är idag en av världens ledande tillverkare av CNC-maskiner. År 1974, med start i Florence, USA, inleddes en expansion av verksamheten utanför Japan. 1980 etablerade Mazak tillverkning och utveckling i Europa genom öppnandet av fabriken i Worcester, Storbritannien. Fabriken i Worcester förser idag främst den europeiska marknaden med ett grundutbud av svarvar, fräsar och fleroperationsmaskiner (english.mazak.jp).

En av maskinerna som tillverkas i Worcester är den egenutvecklade modellen *VTC800*, vilken är en 5-axlig vertikal fräs. Med ett spindelvarvatal på 18 000 [rpm], motoreffekt på 35 [kW] och en precision ner på mikromillimeternivå (ravema.se) är till- och frånflödet av kylarvätska, smörjolja och tryckluft till spindeln essentiellt för att vidmakthålla önskad funktion. Maskinens *spindle headstock*¹, vilken är den maskindel vari spindeln är fäst, spelar en avgörande roll vid transport av fluiderna. Fluidtransporten sker genom elva borrarade kanaler vilka efter bearbetning måste kontrolleras för att säkerställa erforderligt genomflöde.

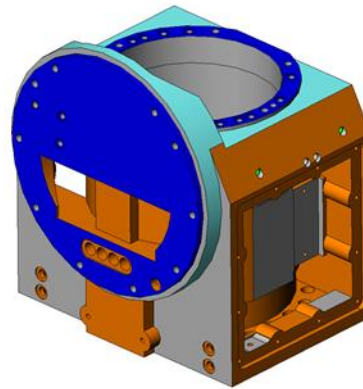
1.1 Bakgrund

Mazak har sedan VTC 800 lanserades år 2012 råkat ut för sex fall där en maskin levererats med blockerade eller felaktigt borrarade kanaler i spindeldockan. Varje felaktig maskin som levereras till kund beräknas, baserat på tidigare uppkomna fall, kosta företaget ca £15 000². Den höga kostnaden beror på problemets komplexitet samt att specialiserade servicetekniker från Storbritannien måste åtgärda problemet hos kund, vilket kan vara var som helst i Europa. Den totala kostnaden för problemet uppgår idag till ca £90 000³. (Trevor Burgess)

¹ Senare refererad till som "spindeldocka" (Sven Ekered)

² 165 900 SEK (Citibank)

³ 995 700 SEK (Citibank)



Figur 1 – t.v. Mazak VTC800 (<http://www.mazak.eu/VTC-800-30/SR>) , t.h. CAD-modell av VTC800 spindeldocka

För att kontrollera de borrade kanalerna används en enkel testutrustning där slangar kopplas till spindeldockan och olja pumpas igenom kanalerna, en i taget. Flödet fördelas m.h.a. 13 ventiler som är monterade på inkommande och utkommande slangar. Ventilerna öppnas och stängs manuellt i en viss ordning för att alla kanaler ska kontrolleras.



Figur 2 – Befintlig testutrustning

Det befintliga testet är svåröverskådligt, kladdigt och otillförlitligt och risken för fel p.g.a. den mänskliga faktorn är stor. Det största problemet med utrustningen är slangarnas oordning samt svårigheten att särskilja de olika ventilerna.

Till följd av tidigare medförda kostnader av den bristfälliga kontrollen av detaljerna vill Mazak förbättra testet av spindeldockan. På initiativ av kvalitetsavdelningen vid fabriken i Worcester initieras ett konstruktionsprojekt av en ny testutrustning för avdelningen *Spindle Assembly's* räkning.

1.2 Syfte

Projektet syftar till är att utveckla testutrustning och testmetod för att minimera risken att felaktiga VTC800 spindeldockor passerar kvalitetskontroll och monteras på maskin. För att nå detta mål erfordras en robustare och mer tillförlitlig utrustning och metod än vad som finns tillgänglig idag.

1.3 Avgränsningar

- Överflödiga beräkningar och simulationer undviks och ersätts med empiriska studier för att spara tid och pengar
- Projektets kostnad begränsas till vad som anses motiverat av framtida förväntade besparingar
- Befintlig testmetod med olja och pump behålls

1.4 Precisering av frågeställning

Är det möjligt att konstruera och bygga en robust, tidseffektiv och lättförståelig testrigg som upptäcker felaktiga kanaler, minimerar risken för fel p.g.a. mänskliga faktorn samt klarar arbetstryck upp till 1,5 [MPa].

Kan riggen:

- Vara tillförlitlig och robust
- Motstå ovarsam hantering
- Användas av någon utan förkunskaper
- Minimera risken för fel p.g.a. mänskliga faktorn
- Vara mobil
- Reducera operationstiden
- Motstå arbetstryck upp till 1,5 [MPa]
- Bli konstruerad, byggd och fungerande inom 12 veckor
- Utvecklas till en motiverad kostnad i förhållande till ROI⁴

⁴ Return On Investment

2. TEORETISK REFERENSRAM

Kapitlet beskriver teori och terminologin som behövs för att förstå beräkningar och tagna beslut.

2.1 Bernoullis ekvation - Statiskt, Dynamiskt och Stagnationstryck

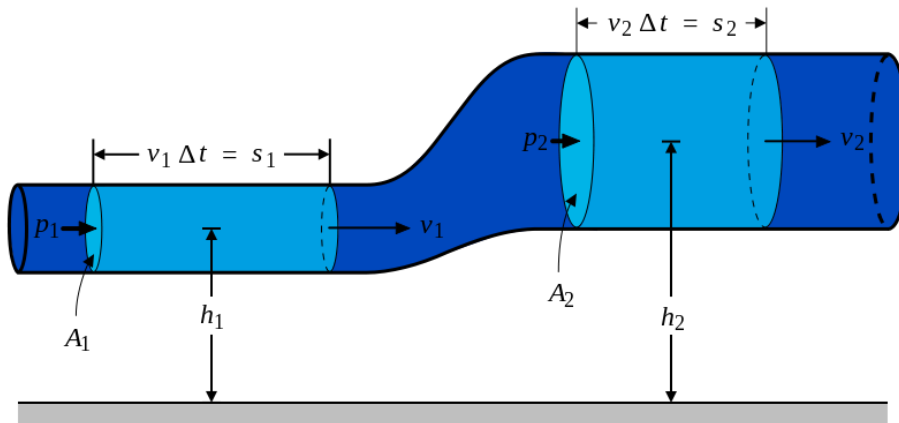
Ett idealt rör utan friktionsförluster ses som en kontrollvolym⁵. Flödet antas vara stationärt⁶ och fluiden inkompressibel.

Enligt termodynamikens första huvudsats, lagen om energins bevarande, måste inflödet av energi motsvara utflödet.

Situationen beskrivs visuellt i figur 3 och benämns Bernoullis ekvation (Cengel, Y., m.fl., 2008):

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g * Z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g * Z_2 \quad (2.1.1)$$

där P är trycket i en vald punkt, ρ fluidens densitet, V fluidens hastighet i en vald punkt, g gravitationskonstanten och Z elevationen från ett referensplan.



Figur 3 – Förklarande bild till Bernoullis ekvation (<http://sv.wikipedia.org/>)

Multiplieras ekvation (2.1.1) ovan med ρ och höjdskillnaden sätts till $Z_1=Z_2=0$ erhålls:

$$P_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} = P_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} \quad (2.1.2)$$

där

P kallas för det statiska trycket

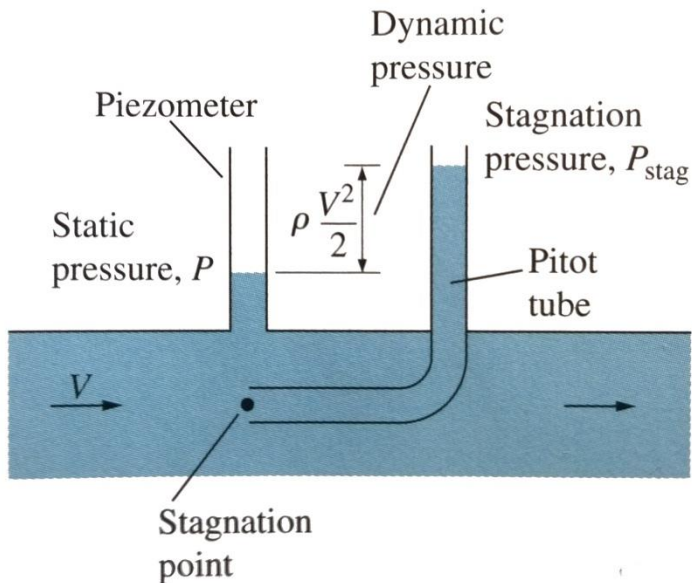
⁵ Ett definierat område med öppna systemgränser som endast massa och energi kan flöda in och ut ifrån

⁶ Ett flöde som antas vara oföränderliga med tiden

$\rho \frac{V^2}{2}$ kallas för det dynamiska trycket

$P + \rho \frac{V^2}{2}$ kallas för stagnationstrycket eller totalatrycket

Ekvation (2.1.1) och (2.1.2) beskriver ett förhållande mellan tryck och hastighet. Om hastigheten på fluiden ökat måste trycket ha sjunkit för att energibalansen skall bevaras. Figur 4 nedan beskriver pedagogiskt skillnaden på statiskt-, dynamiskt- och stagnationstryck.



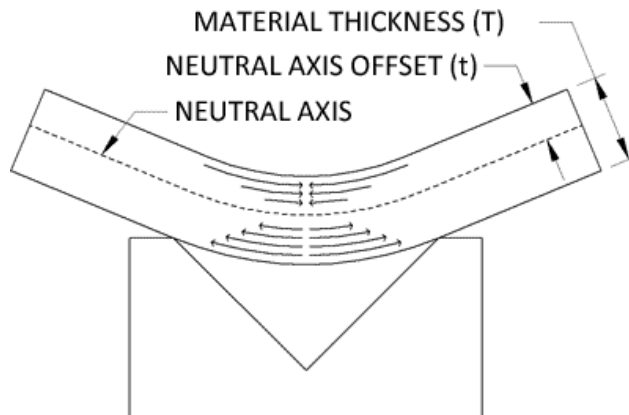
Figur 4 – Stagnation, dynamic and static pressure. (Cengel, Y., 2008)

2.2 K-faktor

Kompensationsfaktorn, eller K-faktorn, är en material parameter som används för att beräkna materialåtgång för en bockning och matas ofta in i CAD-program såsom SolidWorks när bockning av plåt är aktuellt. Därmed kompenseras arbetsstyckets dimensioner för att erhålla önskade dimensioner hos arbetsstycket efter bearbetning.

Då en plåt bockas sker både lokal kompression och lokal dragning i materialet. Som synes i figur 5 delas zonen för dragning respektive kompression av en neutrallinje. K-faktorn är förhållandet mellan plåtens tjocklek, T , och neutrallinjens förskjutning, t . K-faktorn fås då som:

$$K = \frac{t}{T} \quad (2.2.1)$$



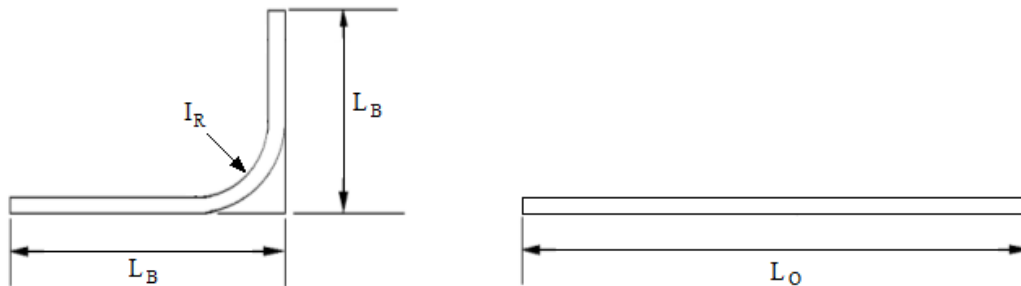
Figur 5 - Definition av neutrallinje (SheetMetal.me, 2011)

Beräkning av K-faktorn sker genom empiriska studier där provböckade plåtar mäts. K-faktorn beräknas enligt (SheetMetal.me, 2011):

$$K = \frac{180 * B_a}{\pi * B * T} - \frac{I_R}{T} \quad (2.2.2)$$

där

B_a = Bend allowance = $L_o - 2 * L_B$ och I_R = innerradie, enligt figur 6, samt B = Böckningsvinkel. (sheetmetal.me)



Figur 6 - Definition av parametrar för innerradie samt beräkning av Bend allowance (SheetMetal.me, 2011)

2.3 Ohms lag

Ohms lag beskriver ett linjärt samband mellan spänning, ström och elektriskt motstånd (Jacobson, S., N/A):

$$U = R * I \quad (2.3.1)$$

där

$U = \text{Spänning [V]}$

$I = \text{Ström [A]}$

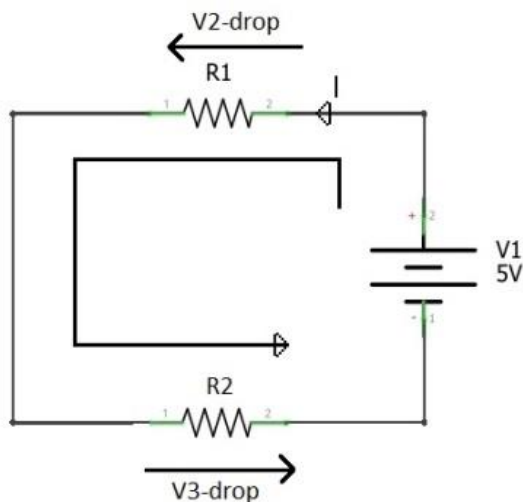
$R = \text{Resistans [\Omega]}$

Ohms lag gäller för likström och likspänning men har ett liknande utseende för växelström.

2.4 Kirchhoffs spänningslag

Kirchhoffs spänningslag konstaterar att summan av alla spänningsfall i en sluten krets skall summeras till noll. Lagen är en konsekvens av termodynamikens första huvudsats, lagen om energins bevarande, som konstaterar att energi varken kan skapas eller förstöras, utan endast omvandlas från en form till en annan. (Nave, R., 2012)

$$V1 - V2 - V3 = 0 \text{ [V]} \quad (2.4.1)$$



Figur 7 – Schematisk krets

Exempel:

Tillämpas ekvation (2.4.1) ovan på kretsen i figur 7 erhålls:

$$5 - V_2 - V_3 = 0 [V] \quad (2.4.2)$$

Substitueras spänningsfallen V_2 och V_3 med ohms lag, ekvation (2.3.1), erhålls:

$$5 - I * R_1 - I * R_2 = 0 \quad (2.4.3)$$

Är t.ex. motstånden R_1 och R_2 kända går det nu att lösa ut strömmen I och därefter spänningsfallet per resistor.

Låt $R_1 = 2 \text{ ohm}$ och $R_2 = 3 \text{ ohm}$.

$$5 - I * 2 - I * 3 = 0 \Rightarrow I = \frac{5}{5} = 1 [A] \quad (2.4.4)$$

Med strömmen känd löses nu spänningsfallet per resistor ut med ohms lag:

$$V_2 - drop = R_1 * I = 2 * 1 = 2 [V] \quad (2.4.5)$$

$$V_3 - drop = R_2 * I = 3 * 1 = 3 [V] \quad (2.4.6)$$

2.5 Effekt

Elektrisk effekt i watt representerar i vilken takt elektrisk energi omvandlas till en annan form av energi så som värme eller mekanisk energi (Nave, R. 2012).

$$P = V * I [W] \quad (2.5.1)$$

där

$$P = \text{Effekten i Watt } [W]$$

$$V = \text{Spänningen i Volt } [V]$$

$$I = \text{Strömmen i Ampere } [A]$$

Tas spänningsfallet över resistorn R_1 i kap.2.4, ekvation (2.4.5), erhålls att värmeförlusten blir:

$$V_2 * I \Rightarrow 2 * 1 = 2 [W] \quad (2.5.2)$$

Att känna till värmeförlusten i vissa specifika komponenter är av yttersta vikt för att säkerställa att ingen komponent blir överhettad.

2.6 Värmeledningsförmåga

Fourier's lag för ett homogent material där värmeöverföringen sker i en dimension skrivs (Cengel, Y., m.fl., 2008):

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA * \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.6.1)$$

där

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ är mängden värme transporterat per tidsenhet [W]

k är materialets värmeledningsförmåga $\left[\frac{W}{m * K}\right]$

A objektets area [m^2]

ΔT temperatur skillnaden mellan de två punkterna [K]

Δx det homogena materialets tjocklek [m]

Inom flera praktiska tillämpningar förenklas ekvation (2.6.1) ovan till (Hunter, B., Rowland, P. 2003):

$$P_d = \frac{(T_J - T_A)}{R_{\theta JA}} \Rightarrow R_{\theta JA} = \frac{(T_J - T_A)}{P_d} \quad (2.6.2)$$

där

$P_d = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ där P_d står för power dissipation, effektförlust [W]

T_J är objektets varmaste punkt då den är aktiv där T_J står för temperatur junction [K]

T_A är omgivningens temperatur där T_A står för temperatur ambient [K]

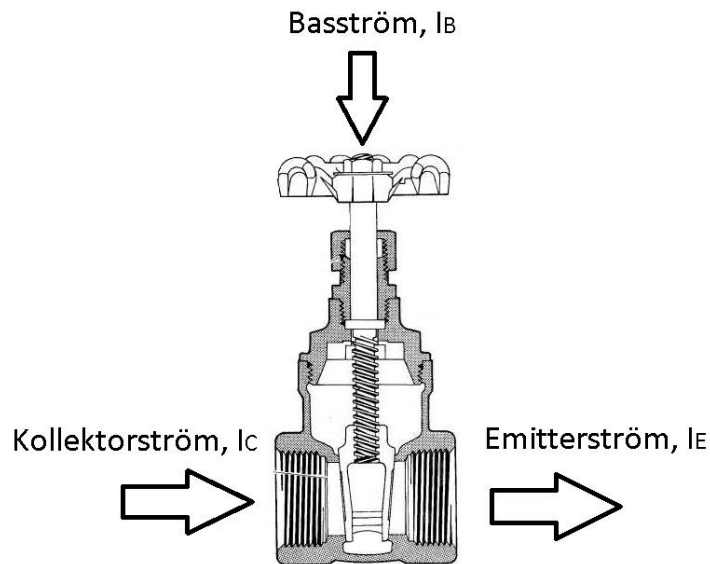
$R_{\theta JA} = \frac{x}{A * k}$ och kallas den termiska resistansen från junction till ambient $\left[\frac{K}{W}\right]$

$R_{\theta JA}$ är ett mått som ofta kan hämtas ur specifikationen för komponenter vars (bi)funktion är att avleda värme såsom kylflänsar.

2.7 Transistor

Transistorns funktion kan metaforiskt likställas med en kran eller ventil (se figur 8).

Kollektorströmmen motsvarar inflödet, emitterströmmen motsvarar utflödet och basströmmen motsvarar insignalen, i detta fall i form av ett vred⁷. Kollektorströmmen är ungefär lika stor som emitterströmmen.



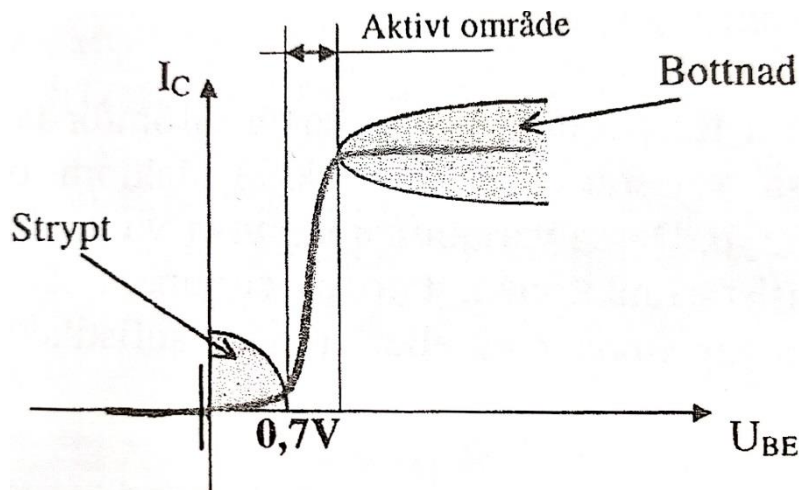
Figur 8 - Transistor metaforiskt jämförd med en ventil (<http://constructionmanuals.tpub.com/>)

Utflödet kommer då vara en produkt av det maximala inflödet och vredets position. Förhållandet mellan vredets position och utflödet benämns för transistorerna ofta B eller h_{FE} , (Jacobson, S., N/A):

$$I_C(\sim I_E) = h_{FE} * I_B \quad (2.7.1)$$

Är vredet fullt inskruvat så sägs transistoren vara strypt och ingen vätska flödar. Är vredet fullt urskruvat sägs transistoren vara bottnad och maximalt med vätska flödar. I många applikationer är man endast intresserad av att ha transistoren antingen strypt eller bottnad.

⁷ Avsnittet behandlar en klassisk NPN-transistor.



Figur 9 - Transistorns I_C - U_{BE} -karaktäristik (Jacobson, S., N/A)

När fluiden passerat ventilen förlorar den energi för att överkomma den friktionen som ventilen utgör. Inom elsammanhang kallar man denna förlust för ett spenningsfall. För transistoren benämns detta spenningsfall mellan in- och utflöde V_{CE} där C-E beskriver att spenningsfallet sker över kollektor- emitter.

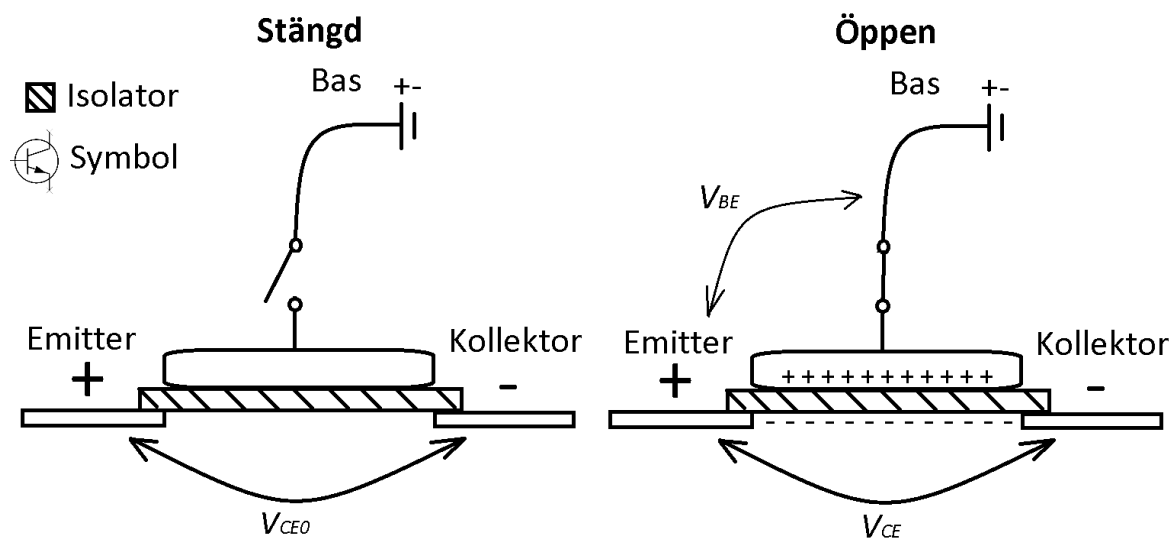
Ponera att ventilen ovan är stängd. Det kan då vara av intresse att veta hur mycket fluiden kan pressa på barriären innan den går sönder och fluiden börjar flöda ut på utsidan. För transistoren benämns detta V_{CEO} .

Begränsningen för hur mycket som kan flöda när transistoren är bottnad brukar betecknas $I_{C, \max}$.

En principiell bild på hur en transistor opererar framgår i figur 10 nedan. Till vänster är transistoren strypt, det finns inget konduktivt mellan polerna och basen är stängd.

Till höger är transistoren aktiv eller bottnad beroende på spennningen och strömmen som basen levererar. När basen är sluten blir brickan nedanför positivt laddad. Det drar till sig negativt laddade partiklar som vid rätt mängd bildar en kanal som sluter polerna.

Tänk på basen metaforiskt som vredet på ventilen ovan. Istället för att vrida vredet så regleras istället strömmen.



Figur 10 – Illustration av en transistors funktion

Det är även ett spänningsfall över basen och emittern även om det inte framgår på de principiella bilderna ovan. Spänningsfallet benämns V_{BE} och beskriver att spänningen mellan basen och emittern minst måste vara t.ex. 0,7 volt för att transistorn överhuvudtaget skall transportera ström.

Exempel:

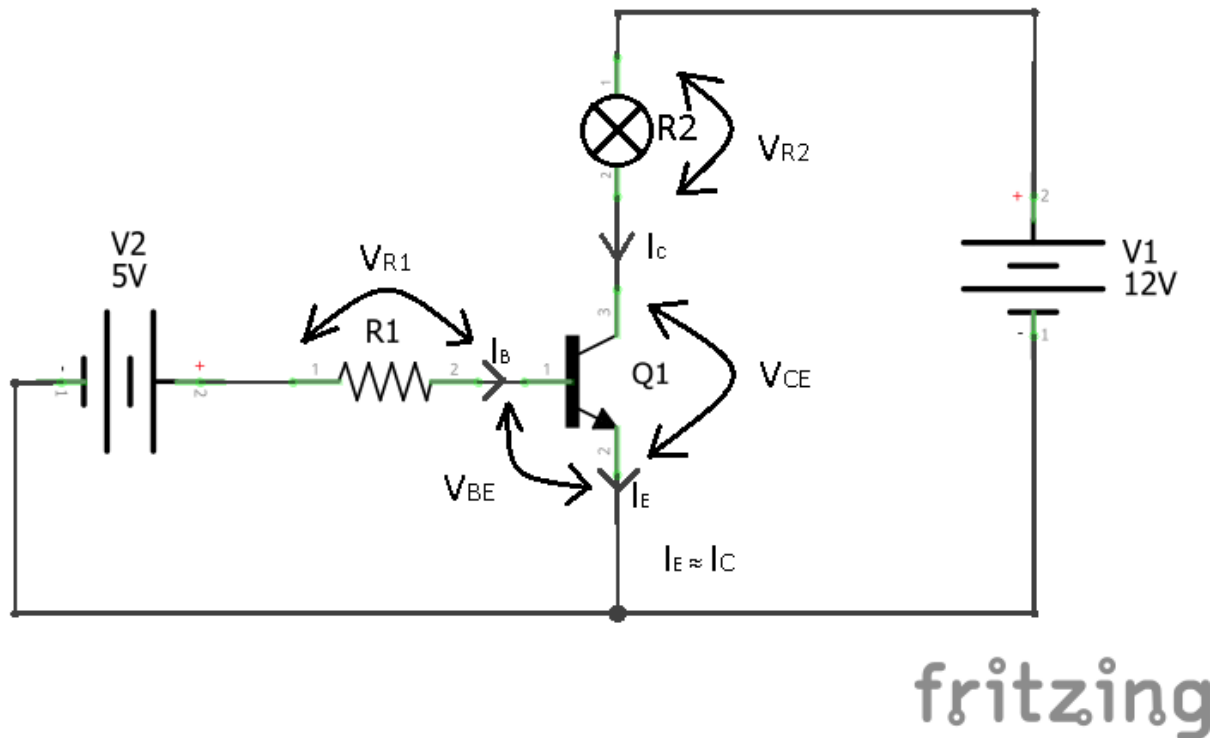
Lampan nedan (figur 11) är märkt 12 [VDC], 6 [W]. Den skall tändas medhjälp av transistorn Q1.

Hypotetisk data för transistorn:

Tabell 1 – Data för transistorn

Symbol	Värde	Enhet
V_{CEO}	50	[V]
$I_{C,max}$	1	[A]
h_{fe}	150	
V_{BE}	1.2	[V]
V_{CE}	0,1	[V]

Exemplet består i att bestämma resistorn, R1, så att transistorn endast släpper igenom hälften av lampans märkström.



Figur 11 – Exempelbild på en krets med NPN-transistor

1. Klarar transistorn av spänningen.
 $V_{CEO} = 50 > 12$ [V] och således är spänningen godkänd.
2. Ta reda på den nödvändiga kollektorströmmen I_C .
 Kirchhoffs spänningslag, ekvation (2.4.1), ger:

$$12 - V_{R2} - V_{CE} = 0 \Rightarrow V_{CE} \approx 0 \Rightarrow V_{R2} = 12 \text{ [V]} \quad (2.7.2)$$

Det ligger alltså ca 12 volt över lampan om det antas att spänningsfallet över kollektorn-emittern kan försummas. Strömmen löses ut genom att ta lampans effekt och dela denna med den försedda volten enligt ekvation (2.5.1):

$$\frac{6}{12} = 0.5 \text{ [A]} \quad (2.7.3)$$

Vid strömmen 0,5 [A] lyser lampan enligt specifikationerna.
 Lampan skall dock strypas ned till halva strömmen så således är strömmen $I_C = 0,5/2 = 0,25$ [A].

Då $0,25 < 1$ [A] klarar transistorn av strömmen.

3. Ta reda på erforderlig basström, I_B , enligt ekvation (2.7.1):

$$I_C = h_{FE} * I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{0,25}{150} = 1,67 \text{ [mA]} \quad (2.7.4)$$

4. Bestäm storleken på resistorn $R1$ så basströmmen, I_B , blir korrekt

$$5 - R1 * I_B - V_{BE} = 0 \Rightarrow R1 = \frac{5 - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 1,2}{1,67 * 10^{-3}} = 2276 \text{ } [\Omega] \quad (2.7.5)$$

När resistorn är 2276 ohm erhålls en basström på 1,67 [mA] vilket medför att huvudströmen, I_C , är 0,25 [A] vilket är halva lampans strömmärkning.

I många applikationer är man endast intresserad av att öppna eller stänga transistorn.

Man räknar då på samma sätt som ovan och sedan tar man till ordentliga marginaler på resistorn.

Större basströmmar leder ofta till mindre spänningsfall över kollektor-emitter.

3. METOD

Nedan nämnd metod utarbetades för att passa projektets längd, omfattning och ändamål. I kap. 3.1 redogörs projektets åtta milstolpar, vilka parallellt kompletterades med kunskapsinsamling från laborationer och teoretiska efterforskningar. Dessa finns beskrivna i kap. 3.2 respektive 3.3. Ett Gantt-schema för processen upprättades.

3.1 Arbetsgång

Arbetet strukturerades i åtta delmoment med avsatt tid och deadlines för vart och ett av momenten. Detta för att säkerställa att projektet skulle bli klart i tid med adekvat resultat samt att arbetsgången följer en röd tråd genom hela processen.

Projektintroduktion

För att få ett grepp om företagsstrukturen, vilka resurser som finns att tillgå på företaget samt bakgrunden till problemet, ägnades inledningsvis några dagar i fabriken. Utöver rutinmässig rundvandring spenderades extra tid på monteringslinan för maskinmodellen VTC 800 samt vid avdelningen *Unit Assembly*. Vid *Unit Assembly* byggs spindelmodulen till maskinen och är således även den avdelning där spindeldockan kvalitetstestas före spindeln monteras i den. Nuvarande testutrustning analyserades och utvärderades.

Problemdefinition och konceptframtagande

Efter laboration med befintlig testutrustning identifierades dess problem och nackdelar som, tillsammans med insamlade önskemål, skulle komma att utgöra grunden till en kravspecifikation för en ny testutrustning. Utifrån denna genererades flera koncept, vars egenskaper viktades och utvärderades i en Pughs-matris⁸. Pughs ballonger⁹ tillämpades för att säkerställa att alla aspekter av problemet tillgodosågs.

En grov kostnadsuppskattning av de olika koncepten utfördes, varefter de kunde jämföras med varandra samt ställas mot väntade framtida besparingar till följd av erforderlig investering.

Planeringsrapport

En planeringsrapport skrevs för att definiera vad som behövdes göras, hur det skulle genomföras samt när det skulle vara färdigställt. Detta dokument låg till grund för projektets genomförande samt Mazaks och Chalmers officiella godkännande av projektet.

⁸ Konceptutvärderingsmatris som genom poängsatta kriterier ger en indikation om huruvida olika konceptförslag lever upp till krav och önskemål (Otto och Wood, 1996)

⁹ Sammanställning av alla aspekter som bör undersökas under produktutveckling (Otto och Wood, 1996)

Konceptförverkligande och funktionstest

Då ett koncept var valt kunde dess funktion och komponenter börja testas. Vissa av komponenterna beställdes in i små kvantiteter i ett tidigt stadium för att utvärderas genom laborationer. Material och val av olika komponenter och metoder testades för att möta uppsatta krav och önskemål.

Konstruktion

Uppbyggnad och slutgiltig dimensionering av den nya testutrustningen kunde påbörjas efter tillfredställande resultat från funktionstesterna. Stommen till testutrustningen konstruerades i CAD-programmet SolidWorks och övriga komponenter valdes från webbkataloger från Mazaks leverantörer. Allt plåtmaterial ritas upp i SolidWorks Sheet Metal-verktyg där även kritiska delar kontrollerades i SolidWorks FEM-verktyg COSMOSXpress. Efter FEM-analys¹⁰ kunde vid behov vissa delar omdimensioneras.

Till samtliga delar som behövde specialtillverkas gjordes tekniska ritningar efter Mazakstandard. Ritningarna skickades sedan via *Sheet Metal*-avdelningen till produktion.

Tillverkning

Samtliga delar som behövde specialtillverkas tillverkades och lackerades i företagets egen metallbearbetningsverkstad. Mellan bearbetning och lackering testmonterades huvuddelarna av utrustningen för att fastställa och finjustera passning.

Montering

Då samtliga komponenter tillverkats och köpts in monterades riggen samman och hydrauliskt och elektriskt system kopplades. Under monteringsfasen gång kompletterades utrustningen med både fler beställda delar och fler tillverkade delar för att möta mer specifika krav som uppkom under arbetets gång.

Finjustering och funktionsfastställande

När ett fungerande system var upprättat testkördes och justerades riggen för att säkerställa önskad funktion.

3.2 Laborationer

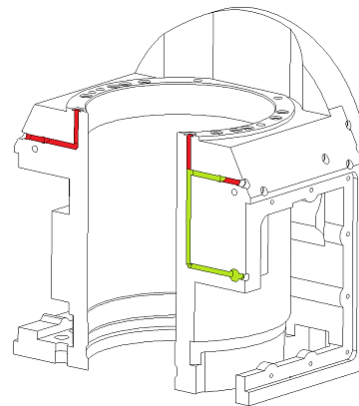
Genom produktutvecklingsfasen var verifikation av hypoteser nödvändigt för att föra processen framåt. Experiment genomfördes därför för att säkerställa att komponenter, metoder och

¹⁰ Hållfasthetsberäkningar med hjälp av finita elementmetoden (FEM)

dimensionering fungerade i praktiken. Laborationerna genomfördes ofta småskaligt, för att i senare kunna skalas upp till slutgiltig produkt.

3.2.1 Analys av befintlig testutrustning

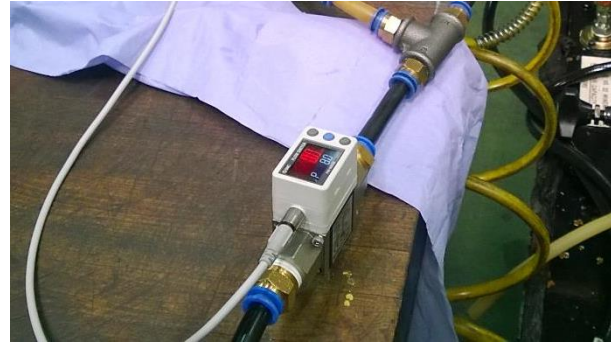
Befintlig testutrustning analyserades med målet att grundligt förstå problematiken med den. Initialt följdes användarmanualen för att genomföra testet. Därefter styckades en CAD-modell av detaljen för att få fullständig förståelse för hur alla kanaler löper genom spindeldockan. Med erfarenheten från detta arbetades en egen kontrollmetod fram, vilken implementerades på testutrustningen för att fastställa att fullständig förståelse av kanalsystemet uppnåts.



Figur 12 – t.v. befintlig testutrustning. t.h. exempel på genomskärning för att identifiera flödesväg

3.2.2 Test av magnetventiler och flödesmätare

Efter kunskapsinsamlande från datablad och kataloger testades styrning av magnetventiler och avläsning av flödesmätare i en laboration. Laborationen anordnades genom att komplettera befintlig utrustning med nämnda komponenter. Vid inflödet till systemet placerades flödesmätaren där aktuellt flöde kunde avläsas från mätarens display. Vid systemets utflöde placerades magnetventilen som, då pumpen trycksatte systemet, reglerade om olja tilläts flöda genom systemet. Ventilen öppnades och stängdes m.h.a. ett 24 volts nätaggregat och dess strömbrytare.



Figur 13 – t.v. flöde styrt med magnetventil (bildens nedre vänstra hörn). t.h. flödesmätare kopplad till systemet

3.2.3 Test av riggdimensioner och ergonomi

En enkel riggmodell skala 1:1 byggdes utav en arbetsbänk och wellpapp för att undersöka vald dimensionering i praktiken. Bland annat testades hur väl operatören kunde nå de mest svåråtkomliga delarna, passande arbetshöjd samt om vissa tyngre lyft kunde utföras.



Figur 14 – Pappmodell skala 1:1

3.2.4 Bockningsdemonstration

Då flera delar av riggen väntades konstrueras av bockad plåt initierades en demonstration av laserskärnings- och plåtböckningsverkstaden. Detta för att erhålla erfarenhet av dess möjligheter och begränsningar inför konstruktionsfasen. En riggkomponent testtillverkades från inmatning av CAD-ritning till laserskärare vidare till böckning, svetsning och lackering.

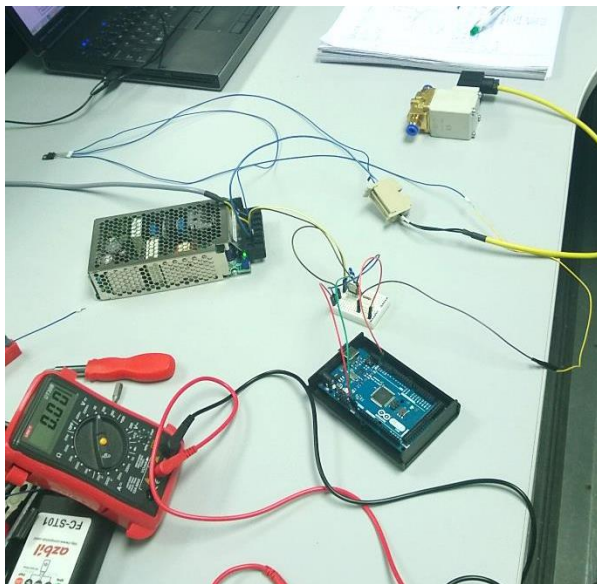


Figur 15 – Bockningsdemonstration. t.h. teststillverkad spillbricka

3.2.5 Test av magnetventil med transistor och voltregulator

För att utvärdera om inköpta komponenter, såsom transistorer, voltregulatorer och resistorer, kunde styra magnetventilerna utfördes en laboration. Nätaggregatet på 24 volt kopplades till magnetventilen genom transistorns emitter och kollekt. En voltregulator sänkte spänningen från 24 volt till 9 volt för att förse kontrollerkortet med erforderlig spänning. En av kontrollerkortets I/O på 5 volt kopplades sedan till transistorns bas.

När kontrollerkortet strömsatte basen öppnades transistorn och därmed öppnades magnetventil.



Figur 16 – Magnetventil (övre högra hörnet) öppnas och stängs med Arduino-kort

Laborationen gick plan enligt.

3.3 Teoretisk kunskapsinsamling

Löpande genom hela projektet har fakta samlats in genom tre kanaler. Största delen av informationen har kommit från komponentleverantörer främst i form av datablad och användarmanualer. Detta för att välja rätt konstruktionskomponenter och hitta lösningar på uppkomna problem. Kunskap berörande mer generella frågor samt konstruktion, CAD, el, tillverkning och material har inhämtats från muntliga källor inom företaget. Vid vissa uppkomna problem fanns dock anledning att finna mer fördjupad kunskap, då främst i form av läroböcker och vetenskapliga skrifter.

4. PROBLEMDIDENTIFIKATION

Kapitlet berör de resultat som framkommit under projektets inledande fas och redovisar resonemang som ligger till grund för konceptgenereringsfasen.

4.1 Utvärdering av befintlig utrustning

Testutrustningen består av en tryckluftsdriven pump som kopplas till en testmodul. Modulen består av en förgreningsring och ett förgreningsblock som skruvas fast på spindeldockan då den ska testas. Skarvarna säkras med o-ringar. Från förgreningsringen och förgreningsblocket löper slangar som, då de är monterade, är sammankopplade med kanalernas utlopp. Slangar från pumpen kopplas därefter till inloppen. Pumpen startas och stagnationstrycket ställs in på 0,2 [MPa]. En manual berättar i vilken ordning ventilerna ska öppnas. En lättflytande olja¹¹ pumpas genom var och en av kanalerna och sköljer bort bearbetningsrester. När de olika kanalerna testas fyller operatören i en tabell då flödet visuellt kontrolleras ur utloppen. Då inget eller litet flöde upptäcks genom kanalen innebär detta att en borrhning är ofullständig eller att ett spånblockage uppstått. Detaljen sorteras då ut och ombearbetas. När tabellen fyllts i och alla kanaler testats stängs systemet och stagnationstrycket ökas till 0,6 [MPa] för att kontrollera gjutgodset efter sprickor och pluggade borrhål efter läckor. Trycket hålls i 15 minuter, varefter en okulär besiktning fastställer om detaljen är tät eller ej.

Nackdelar med testet:

- Stor risk att göra fel, även om man är erfaren och känner till både utrustningen och testdetaljen
- Mycket lätt att sammanblanda ventiler och således utföra en ofullständig kontroll
- Utförs på en vanlig arbetsbänk: oljespill gör testet smutsigt och hälsofarligt
- Instruktionen felskriven, följs instruktionen så utelämnas flera delar av kanalsystemet
- Pumputrustningen är gammal och otillförlitlig, tryckmätare visar fel tryck och saknar backup
- Oljan som pumpas för att rengöra är i sig smutsig och har inte bytts/filtrerats på många år
- Tidskrävande

Fördelar med testet:

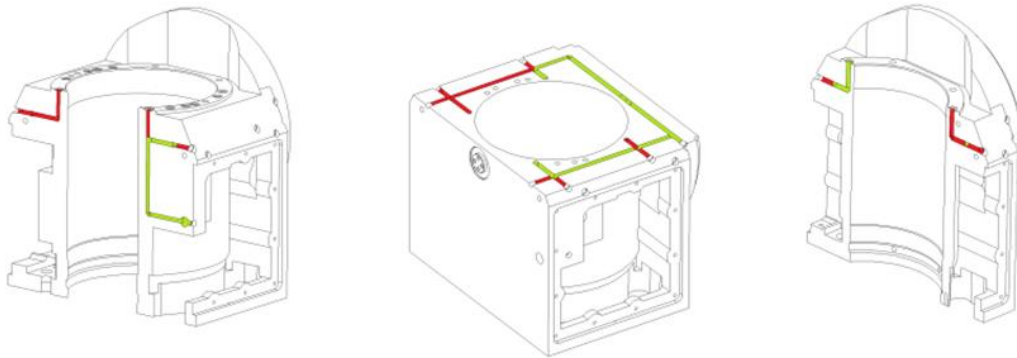
- Kräver lite utrymme

Testet kunde fastställas som förkastligt. Få ur personalen på avdelningen utför testet då kunskap att veta precis hur spindeldockan är uppbyggd erfordras. Som synes i figur12 i kap. 3.2.1. är det

¹¹ Mobil Velicite no. 3, viskositet @ 40°C: 2,1[mm²/s] (mobil.com)

problematiskt att skilja de olika ventilerna åt, minsta fel medför ett ogiltigt testresultat. Risken för fel på grund av den mänskliga faktorn är överhängande.

Spindeldockan studerades i SolidWorks där alla kanaler identifierades i genomskärning. Figur 17 nedan visar ett exempel på hur en av kanalerna identifierades. Utifrån detta kunde testets giltighet ifrågasättas. I testmanualen utelämnades kontroll av tre kanaldelar, varför alla tidigare genomförda test där man följt instruktion har varit ofullständiga. Dock kan testen ha utförts tillfredställande om operatören haft erforderlig kunskap.



Figur 17 – Exempel på tre bilder som tillsammans beskriver hur vätska flödar genom en kanal. Grönt anger den del av kanalen var fluiden strömmar.

Under testet är det ofrånkomligt att olja läcker ut på arbetsplatsen. Ventiler och slangar läcker och arbetsbänken saknar dränering. Läckage samlas upp med absorberingsdukar, men spill på golv samt hudkontakt är ändå oundvikligt. Detta medför en hälsofara både på grund av halkrisk och oljans irritation vid hudkontakt. (Trevor Burgess)

Pumpen som används bedömdes undermålig i flera avseenden. Uppgifter om både dess ålder och senaste service saknas. Pumpen är utrustad med en tryckmätare som utgör enda referens vid testutförandet. Även denna saknar dokumentation på kalibrering på många år. Som kontroll seriekopplades en ny tryckmätare varpå en laboration initierades. Tabell 2 nedan redovisar resultatet från studien, var det kan utläsas att befintlig tryckmätare visar fel vid låga stagnationstryck och konvergerar vid runt 3 [bar] (0,3 [MPa]). Därmed kunde det fastslås att tidigare utförda test utförts vid för lågt tryck. När testet utförs vid vad mätaren anger som 2 [bar] trycksätts systemet i själva verket med 1,25 [bar]. Detta kan ha lett till att oljetrycket varit för lågt för att rensa kanalerna under tidigare test.

Tabell 2 – Datatabell från laboration av tryck och flöde

TAP 1B Open/Closed	New Pressure Gauge [bar]	Old Pressure Gauge [bar]	Pressure measure error	[L/min] (bucket and clock)	[L/min] (flow meter)	Flow measure error
Closed (Stagnationstryck)	1.25	2	60%	--	--	--
Open	0	1.5	--	--	Out of range	--
Closed	2	2.3	15%	--	--	--
Open	0	1.9	--	--	Out of range	--
Closed	2.5	3	20%	--	--	--
Open	0	2	--	--	Out of range	--
Closed	3	3.1	3,33%	--	--	--
Open	0	3	--	2.74	2.6-3.0	2%
Closed	3	3.1	3,33%	--	--	--
Open	n/a	n/a	--	2.74	3.0-3.4	17%
Closed	4	4	0%	--	--	--
Open	n/a	n/a	--	3.3	3.8-4.0	18%
Closed	5	5	0%	--	--	--
Open	n/a	n/a	--	4.0	4.6	15%
Closed	6.4	6	-6,25%	--	--	--
Open	n/a	n/a	--	4.15	4.8	16%

En annan aspekt som vägdes in i bedömningen av pumpen var hanteringen av tanken och oljan. Likt pumpen så saknas även uppgifter om översyn av dessa. Samma olja som används för att skölja kanalerna återanvänds utan filtrering, vilket lett till att smutsig olja, även innehållande spånrester, används för rengörande ändamål.

Även varje borrning testades var för sig med ett stagnationstryck satt till 2 [bar]. Då trycket sattes enligt den äldre tryckmätaren kan det verkliga trycket vara något lägre vilket framgår från tabell 2 ovan.

Tabell 3- Flödet i var borrning vid 2bar

Tap	Input	[L/min] @ "2bar" <i>Bucket test with Mobil Velocite no 3</i>	Application
1A	in1	1.72	Coolant for cutting tool
1B	in1	1.66	Coolant for cutting tool
1C	in1	1.66	Coolant for cutting tool
1D	in1	1.66	Coolant for cutting tool
2	in2	1.71	Oil/air exhaust
3	in3	1.69	Motor exhaust
4	in4	1.66	Chiller for cartridge
5	in5	1.64	Compressed air

Då flödet per kanal var relativt lika vilket ses i tabell 3 ovan drogs slutsatsen att även strömningsförlusterna per kanal bör vara relativt lika. Det förenklar den framtida processen då samtliga borrningar kan behandlas ekvivalent.

4.2 Kravspecifikation

Erfarenheterna från analysen i kap. 4.1 förvaltades genom att ställa upp krav och önskemål för en ny utrustning. Detta kompletterades med önskemål från anställda vid avsedd avdelning samt ingenjörer vid kvalitetsavdelningen. Kraven och önskemålen listades i en kravspecifikation enligt tabell 4 nedan.

Tabell 4 - Kravspecifikation

Specification of Requirements					
Project: VTC800 Headstock Test Rig					
Date: 2014-04-08					
No.	Specification/ Goal	Requirement/ Desirable	Control method	Target	Notation
1	Detect blockage	Requirement	Flow [L/min]	Outside two SD	
2	Detect leakages and fractures	Requirement	Visual/ Pressure drop [Pa]	$\Delta P \approx 0$	
3	Clean drillings from debris	Requirement	Visual		
4	Robust	Requirement	IP classification	min IP63 + shockproof	
5	Reliable	Requirement	Flow [L/min]	Error $\leq \pm 5\%$	
6	Within budget	Requirement	Punds [£]	N/A	
7	Easy and intuitive use	Desirable	Yes/No	Can operate without prior knowledge	
8	Low maintenance	Desirable	Time [h] and Punds [£]		
9	Low level of fouling	Desirable	Spillage [L]		
10	Mobile	Desirable	[kg] or [N]	One person can move it	
11	Life in service	Desirable	Time [years]		
12	Size/ storage	Desirable	[m ²]		
13	Operation Time	Desirable	Time [min]	< 20 min (present test)	
14	Product development time	Desirable	Time [weeks]	12 weeks	
15	Ergonomics	Desirable	[m], [°] and [kg]	Easily reachable controls, no heavy lifting etc.	
16	Aesthetics	Desirable			
17	Safety and health	Desirable	Health issues		
18	Easy assembly/modular design	Desirable	Time [h]		

5. KONSTRUKTION

Detta kapitel utgör kärnan i projektet och beskriver vägen från framtagandet av ett antal lösningsförslag till valet av ett slutgiltigt koncept. Vidare beskrivs förverkligandet av detta i form av dimensionering av specialtillverkade komponenter, val och inköp av färdiga komponenter samt konstruktion av el-, styr- och signalsystem.

5.1 Konceptgenerering

Utifrån kravspecifikation skisserades ett antal idéer fram. För att möta de mest fundamentala kraven på ett robust, tillförlitligt och rent test, fastslogs tidigt att en rigg i form av en fristående arbetsbänk skulle utvecklas. En idé på en passande stomme skissades för att utgöra basen för fyra olika konceptförslag. Dessa utvecklades efter en modulär uppbyggnad för att tidigt kunna börja utvecklingen utan att ha valt koncept. Den enklaste varianten kunde således påbörjas tidigt, varpå den kunde utrustas med applikationer från de mer avancerade koncepten om detta skulle vara motiverat.

5.1.1 Manual mechanical unit

Det enklaste av de fyra förslagen. Riggen är helt mekanisk, men till skillnad från referensutrustning har den panelmonterade ventiler och rörsystem. Ventilerna är lättöverskådligt placerade och numrerade och öppnas och stängs manuellt av operatören. Spindeldockan placeras på arbetsytan och kopplas med inflöde på alla kanaler på detaljens högra-, vänstra- och framsida. Elva separata utflöden dras från fördelningsringen på ovansidan och kopplas till varsin ventil på panelen. På så sett skapas ett separat test för varje kanal, till skillnad från tidigare då vissa slangar kombinerades för flera kanaler, och ventiler behövs öppnas i en viss ordning för att olja ska flöda genom önskad kanal.

Manual mechanical-konceptet:

- Vidareutveckling av referensutrustning
- Mer lättförståelig
- Okomplicerat rör-och ventilsystem
- Panelmonterat med tydligt numrerade ventiler
- Minskad nedsmutsning - skyddsskärmar och spilluppsamlare
- Mobil

5.1.2 Semi automatic unit

Vidareutveckling av *Manual Mechanical*, men med guidande ljusdioder som talar om när och vilka ventiler ska öppnas och stängas.

Semi automatic-konceptet:

- Datoriserad ljusguidning för manuell ventilmanövrering (ex. röda och gröna dioder)

- Mycket lätt att förstå och manövrera
- Ej erforderligt att ha skrivna instruktioner
- Kan utrustas med sensorer för flöde och tryckfall
- Reducerad risk för fel p.g.a. mänskliga faktorn (jfr. *manual mechanical unit*)
- Fungerar utan elsystem (ex. vid problem med styrkort)

5.1.3 Fully automatic unit

Slangar, förgreningsring och förgreningsblock kopplas in likt ovan nämnda koncept. Därefter trycks startknappen och helt automatiserat styr och analyserar styrkortet testet.

Fully automatic-konceptet:

- Datoriserad ventilstyrning
- Sensorer för flödes och tryckmätningar
- Plug-and-play-lösning
- Minimal mänsklig inblandning
- Minimalt tidskrävande (behöver inte övervakas av operatör)
- Noggranna mätningar med möjlighet att logga testresultat

5.1.4 Hybrid unit

Hybrid unit är en kombination av *Fully automatic unit* och *Manual mechanical unit* och består på så sätt av två parallella system. Ett som kan utföra testet automatiserat och effektivt, och ett som kan fungera som backup samt för att dubbelkolla vid upptäckten av ett fel.

Hybrid-konceptet:

- Flexibelt system som ger operatören fler alternativ
- Robust
- Manuell uppbackning om elsystemet är ur funktion

5.2 Val av koncept

Fyra förslag som täckte kraven på en ny produkt hade arbetats fram. Vid valet av slutgiltigt koncept ställdes de först i jämförelse mot varandra för att sedan motiveras ekonomiskt.

5.2.1 Pughs matris och Pughs ballonger

För att jämföra och utvärdera de fyra förslagen ställdes de upp enligt Pughmetoden. Metoden används för att särskilja olika produktidéer genom att poängsätta och jämföra deras attribut. Attributen är i sin tur viktade för att på ett objektivet sätt som möjligt hitta den mest passande lösningen (Otto och Wood, 1996). För att säkerställa att alla viktiga aspekter tagits i beräkning tillämpades Pughs ballonger. Metoden är ett hjälpmedel för att kontrollera så att alla aspekter av en produkt i produktframtagningsprocessen tagits i åtanke. Pughs ballonger finns under BILAGA 3. Sid 1(1).

[illegible]

Motivering till viktning:

Viktad som topprioritet, tillsammans med tillförlitlighet, då det ansågs mycket viktigt att utrustningen skulle vara enkel att förstå och använda för att förebygga fel. Baserat på erfarenheter från referensutrustning: ju mer lättförståelig utrustningen kan bli, desto bättre och mer noggranna blir testresultaten.

För att säkerställa att inga felaktiga delar klarar testet eller att korrekta delar underkänns är det mycket viktigt att ha ett tillförlitligt test som levererar bra testresultat varje gång. Ett problem

med tillförlitligheten kan orsaka dyra servicekostnader eller förseningar i produktionen. Koncept som får poäng i kategorin bedöms ha låg risk för mänskliga, mekaniska eller datorrelaterade problem.

Backup System (3/5)

Ett backupsystem är att föredra då det förhindrar förseningar om något av systemen slutar fungera. Vikningen om tre poäng är motiverad av vikten av ett stabilt flöde av komponenter till monteringslinan.

Operation Time - Operationstid (2/5)

Operationstid viktas som två för att det inte är en akut sak att förändra, men en mindre tidskrävande procedur skulle göra att testet upptar mindre av operatörernas tid eller ger dem mer tid att analysera testet noggrannare.

Product Development Time - Produktutvecklingstid (3/5)

Koncepten som fått poäng under denna kategori har en kortare uppskattad produktutvecklingstid. Alla alternativen är framtagna för att passa tidsramen och därför viktas den inte tyngre än tre. Dock så finns i dessa fall mer utrymme för att säkerställa produktens funktion.

Safety and Health - Säkerhet och hälsa (1/5)

En säker utrustning är ett absolut krav vilket angår alla alternativ. Faktorn som övervägt är förväntad hudkontakt med olja samt förväntat spill på golv. Dessa utgör den största mätbara hälsofaran, men viktas lågt då dessa anses som mindre allvarliga.

Cost - Kostnad (2/5)

Projektets kostnad ska motiveras av dess förväntade framtida besparingar, vilket berör alla alternativen. Dock så togs kostnadsaspekten med i beräkning för att skilja de dyrare från de billigare förslagen som ändå förväntas lösa uppgiften på ett bra sätt. Faktorn viktades så lågt som två i och med att ROI väntas vara hög och kostnadsskillnaden mellan alternativen marginell.

Robust (2/5)

Utrustningen ska klara verkstadsmiljön på ett bra sätt. Då detta varit ett av kärnvärdena under framtagandet och då de fyra förslagen väntas leva upp till högt ställda krav, viktas detta så lågt som två.

5.2.2 Ekonomi

Med hjälp av en grov kostnadsuppskattning jämfördes de fyra alternativen med varandra och förväntade med framtida besparingar. Grundläggande komponenter valdes utifrån tidiga konceptskisser, varför uppskattningen får anses som mycket grov, men ändå tillräcklig för att ge en indikation.

Tabell 6 visar sammanställningen av beräknad grundkostnad för de olika koncepten samt kostanden för tidigare fel.

[illegible]

Tabell 7 – Historiska servicekostnader

Year	No. of faulty parts delivered to customer	Total cost	Total cost in SEK (approx.) (Citibank)
2012	4	£60 000	663 800 SEK
2013	2	£30 000	331 900 SEK
Sum	6	£90 000 → £45 000/year	995 700 SEK → 497 800 SEK/year

NOTE: The costs above do not include soft costs like brand damage or the possibility of expensive parts to break.

Utifrån uppskattad utvecklingskostnad för *Hybrid test unit*, vilken utmärkte sig som mest passande koncept enligt Pughs matris, beräknades förväntad ROI enligt:

$$\text{ROI}_{\text{extern}}\% = (\text{nettovinst}/\text{investering}) \cdot 100 = ((45000-2300)/2300) \cdot 100 = \mathbf{1856 \% \text{ per år}}$$

Och tid för återbetalning enligt:

$$\text{ROI}_{\text{extern}} = (\text{investering}/\text{kostnad per dag}) = (2300/(45000/365)) = \mathbf{18,6 \text{ dagar}}$$

För att beräkna total ROI baserad på externa och interna kostnader antogs en säkerhetsmarginal på drygt en faktor två av beräknade externa kostnader. Då riggdelarna för intern produktion inte konstruerats i detta stadie var det inte möjligt att få en kostnadsuppskattning från produktionen. En grov uppskattning fick göras, och en total kostnad inklusive säkerhetsmarginal fastställdes till £5000¹². Enligt ovan beräknades då total ROI:

$$\text{ROI}_{\text{total}}\% = ((45000-5000)/5000) \cdot 100 = \mathbf{800 \% \text{ per år}}$$

$$\text{ROI}_{\text{total}} = (5000/(45000/365)) = \mathbf{40,5 \text{ dagar}}$$

Resultaten sammanställdes enligt tabell 8.

Tabell 8 – Return On Investment

Hybrid Test Rig	Cost	ROI (percent per year)	ROI (days)
External cost	£2300	1856%	18.6
Total approx. cost	£5000	800%	40.5

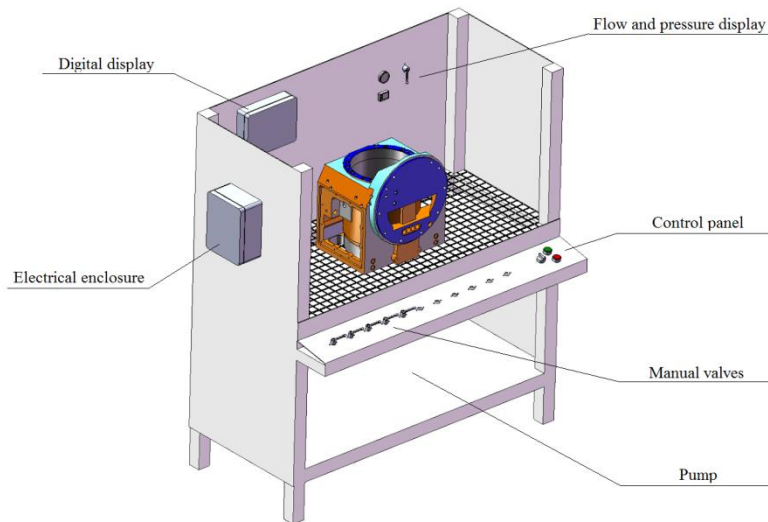
Beräkningarna visade att det fanns goda marginaler och att ROI var mycket bra, med en återbetalning av investeringen på endast 40 dagar. Med detta som underlag fylldes ett *CAPEX*¹³-formulär i för att få kapital beviljat för projektet.

¹² Ca 55 300 SEK (Citibank)

¹³ Capital Expenditure form - formulär för ansökan om projektbudget

5.2.3 Prototyp

Med hjälp av SolidWorks ritades en första prototyp. Prototypen konstruerades med idén om modulär uppbyggnad i åtanke vilket innebar att den kunde varieras till alla föreslagna koncept.



Figur 18 – CAD-prototyp

Prototypen i figur 18 ovan användes som underlag vid presentation av koncept för Mazak. Skissens ändamål var att skapa en grov bild av åt vilken riktning projektet lutade.

5.2.4 Valt koncept

Motiverat av både goda resultat i utvärderingar och diskussioner i samspråk med kvalitetsavdelningen och *Spindle Assembly*-avdelningen, fastslogs att konceptet *Hybrid test unit* skulle utvecklas. I och med de goda ekonomiska marginalerna ansågs det motiverat att budgetera £5000 till projektet och CAPEX-ansökan beviljades, se BILAGA 2. Sid 1(1).

5.3 Konstruktion av mekaniskt system

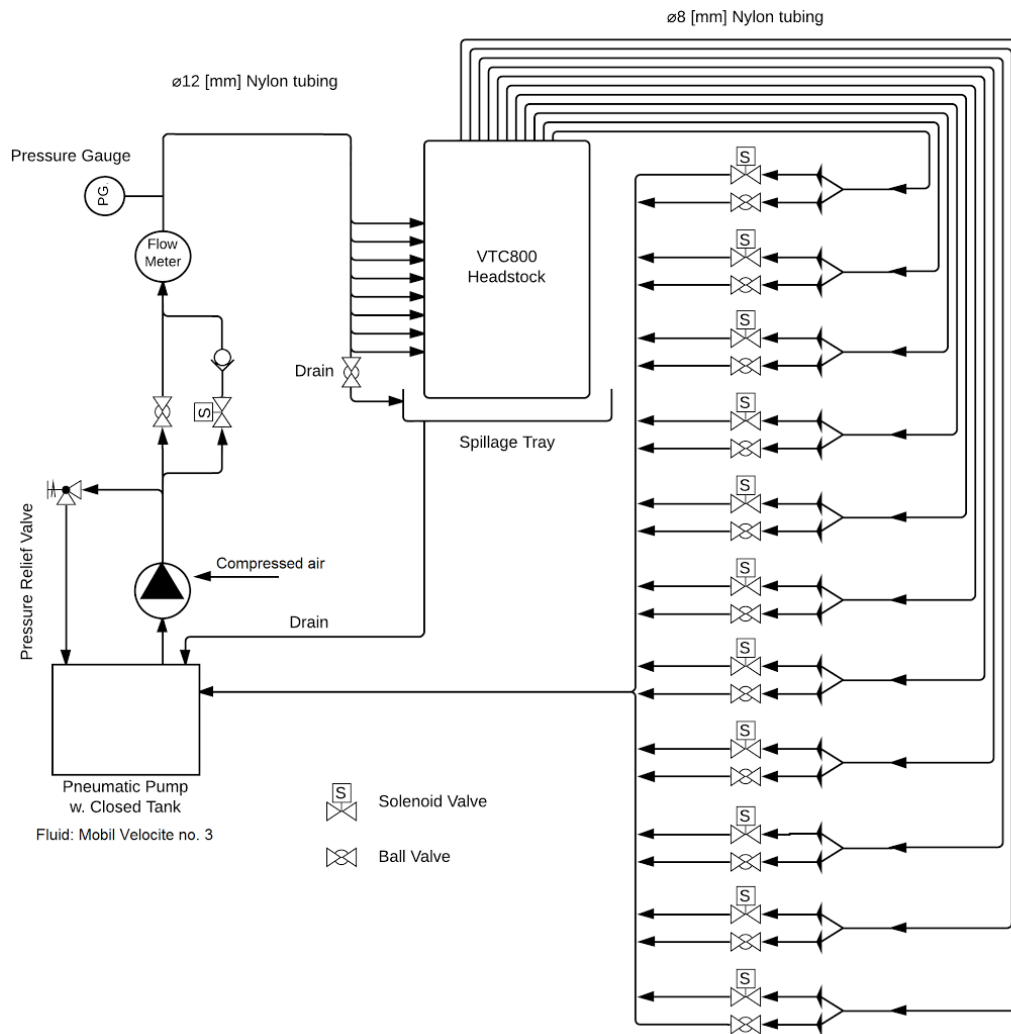
I linje med den tänkta modulära uppbyggnaden konstruerades först det mekaniska systemet. Om utvecklingen av elsystemet skulle bli försenat eller tvingas ställas in skulle således riggen ändå vara fullt brukbar.

För att undvika onödiga rörströmningsförluster eftersträvas genomgående så få diameterändringar och böckningar som möjligt. Optimalt vore om samtliga rör och komponenter har samma innerdiameter då det dessutom förenklar eventuella beräkningar. Dock är det inte alltid möjligt och kompromisser får göras utifrån den utrustning och de komponenter som finns att tillgå.

Då stagnationstrycket är bestämt sedan tidigare undviks flödesberäkningar, istället läses detta av empiriskt.

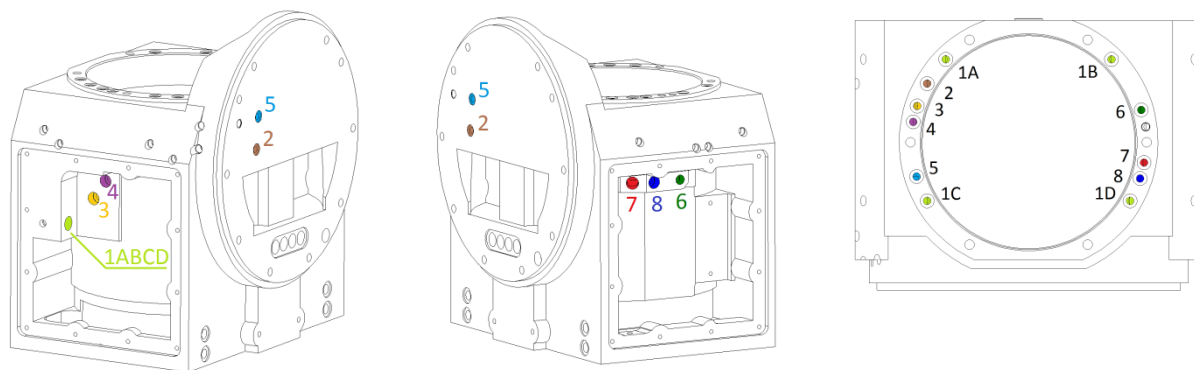
5.3.1 Rörsystem

Ett kopplingsschema upprättades för att överblicka behovet av komponenter. Som nämnts i kap. 5.1 reviderades in- och utloppssystemet så att alla rörkopplingar på spindeldockans sidor endast fungerar som inlopp och alla rörkopplingar från toppen, genom förgreningsringen, fungerar som utlopp. Figur 19 visar detta i ett kopplingsschema.



Figur 19 – P&ID - Piping and Instrumentation Diagram

Detta innebar fler slangar och kopplingar än referensutrustning, men motiverades av efterfrågad simplificering av testet. Figur 20 illustrerar vilka rörkopplingar som fungerar som inlopp respektive utlopp samt hur kanalerna är sammanlänkade.



Figur 20 – Sammanlänkning mellan inflöden (t.v. och mitten) och utflöden (t.h.)

Som utgångspunkt till valet av ventiler och rörkopplingar bedömdes det fördelaktigt att välja rör först. I referensutrustningen hade nylonslang använts, och efter utvärdering av olika slangar och rör föll beslutet på att behålla nylonslangen för ändamålet. Detta dels för att slangen är billig och inte kräver böckning, liksom metallrör, men också för att den används i maskinerna som byggs i fabriken och således alltid finns tillgänglig som reservdel. Detta väntades förenkla montering, underhåll och reparation. Dessutom var den beprövat beständig mot olja, vilken kan vara aggressiv mot vissa material. (Trevor Burgess)

Slangdimension valdes till $\varnothing 12 \times 9$ [mm]¹⁴ för inflödesslangarna och $\varnothing 8 \times 6$ [mm] för utflödesslangarna. För inflödesslangarna grundas valet i att spindeldockans förmonterade slangkopplingar har diametern 12 [mm] vilket således är ett krav för att slangarna ska kunna kopplas in. För utflödesslangarna valdes slang efter spindeldockans kanaler. För att undvika onödiga rörströmningsförluster eftersträvades så få diameterändringar som möjligt. Därför anpassades slangen till kanaldiametern och en slang med innerdiameter 6 [mm] valdes.

5.3.2 Slangkopplingar

Vid användandet av nylonslang kunde slangkopplingar av s.k. *one-touch*-typ användas. Dessa kräver minimalt monteringsarbete då dessa fästs på slang genom att tryckas in och klämmas fast i en hylsa. Demontering sker genom att hylsan trycks in och slangen dras ut, och produkten kan återanvändas upp till tio gånger till andra ändamål (smcworld.com). Eftersom användandet av *one-touch*-kopplingar väntades reducera både monterings- och kostnad samt att de sedan tidigare använts i applikationer på Mazak, togs beslutet att välja sådana som kopplingselement. Tillverkare valdes till SMC¹⁵ av kvalitetsskäl, brett sortiment, bra datablad samt att vissa

¹⁴ Ytterdiameter 12 [mm] och innerdiameter 9 [mm]

¹⁵ SMC: världsledande koncern inom utveckling och tillverkning av industriell pneumatik (smc.eu)

reservdelar skulle finnas tillgängliga ur Mazaks befintliga lager. Figur 21 nedan visar exempel på *one-touch*-kopplingar samt en illustration av kopplingsmekanismen.



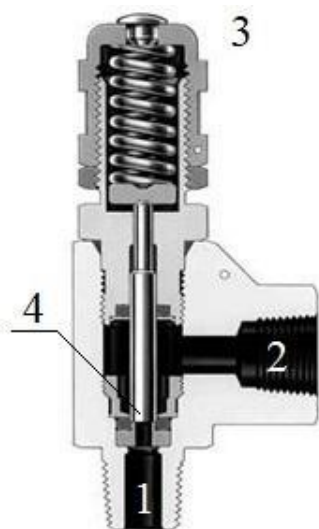
Figur 21 – Exempel på *one-touch*-kopplingar (t.v. och mitten). t.h. illustration av kopplingsmekanism (<http://uk.rs-online.com>)

5.3.3 Ventiler

Det förelåg ett krav från kvalitetsavdelningen att utrustningen skulle klara tryck upp till 1,5 [MPa]. Utifrån datablad och prislister för slangkopplingar och ventiler fastslogs att komponenter avsedda för tryck över 1,0 [MPa] var avsevärt mycket dyrare än de avsedda för tryck upp till 1,0 [MPa]. Prisskillnaden är en effekt av att komponenter för högre tryck i större utsträckning konstrueras av mässing eller rostfritt stål, till skillnad från de för lägre tryck som till största del består av plaster¹⁶ (smcworld.com).

Orsaken till dimensioneringskravet på 1,5 [MPa] härleddes till den befintliga pumputrustningens överkapacitet. Komponenter avsedda för ett maximalt tryck på 1,0 [MPa] kan vid ovarsamt hanterande förstöras av pumpen. För att kunna utnyttja de ovan nämnda pris- och monteringsfördelar bland *one-touch*-kopplingarna placerades en säkerhetsventil efter pumpen. En säkerhetsventil utgör skydd mot övertryck i ett system. Då den kopplas till ett system så trycksätts området markerat med 1, enligt figur 22, med systemtrycket. Skulle systemtrycket överskrida säkerhetsventilens förinställda öppningstryck, tillika ventilmjäderns förspänningskraft, kommer fjädern komprimeras och tappen (4) röra sig i vertikal riktning. Detta tillåter fluiden att strömma genom den öppning vilken tappen tidigare blockerat, och ut genom utloppet (2). På vissa modeller kan fjäderns förspänningskraft regleras med hjälp av en skruv (3). (swagelok.com)

¹⁶ PP (polypropen), PBT (polybutentereftalat) och POM (polyoximetylen)



Figur 22 – Genomsnitt av säkerhetsventil (<http://www.swagelok.com/>)

En säkerhetsventil med ett öppningstryck på 0,8 [MPa] valdes då en säkerhetsmarginal på 0,2 [MPa] önskades till både högttryckstestet som utförs vid 0,6 [MPa] och komponenternas maxbelastning på 1,0 [MPa]. Riggen kunde således konstrueras med enklare och billigare komponenter utan risk för haveri, samtidigt som ett robust skydd mot övertryck var applicerat.

Vid val av ventiler för öppning och stängning av de olika kanalerna sågs främst till idén om att samla ventilerna på en kontrollpanel. Utifrån webbkataloger valdes kulventiler i mässing avsedda för panelmontage.

5.3.4 Flödesmätare

Flödesmätaren valdes utifrån de flöden som tidigare experiment uppvisat enligt tabell 2 och 3. För att uppnå så god precision som möjligt bör flödesmätarens intervall ligga i anslutning till de uppmätta flödena.

Kontakt togs med SMC för att säkerställa att flödesmätaren klarade av oljan, Mobil Velocite no.3, samt att det fanns en analog utsignal till framtida kontrollerkort.

5.4 Konstruktion av riggstomme

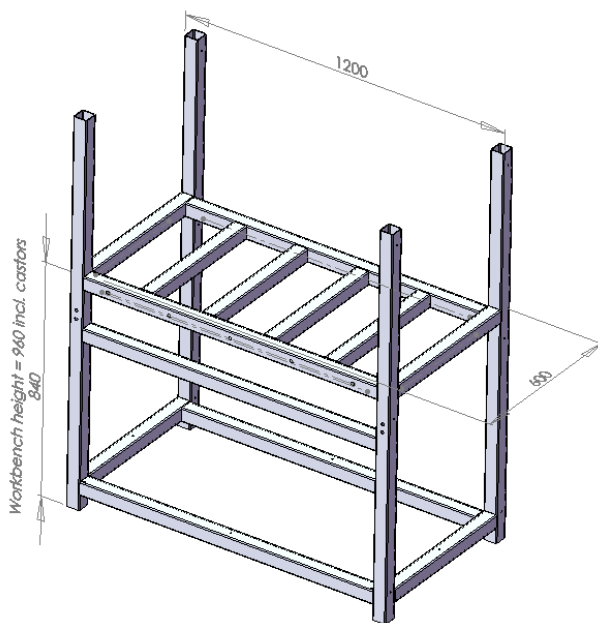
Till riggstommen hör de komponenter som kunde tillverkas i fabriken. Dessa kunde således dimensioneras helt anpassade till ändamålet, endast begränsade av tillgänglig maskinpark och projektbudget. Riggstommen indelas i kategorierna balkstomme, skärmar, kontrollpanel och spillbricka.

5.4.1 Balkstomme

Balkstommen utgör riggens bärande struktur. Utifrån de komponenter riggen skulle innefatta, vad den ämnade bära samt typiska ergonomiska mått, kunde stommen börja dimensioneras. Som konstruktionsmaterial valdes en tillgänglig stål balk 50x50 [mm] fyrkantsprofil. Valet grundades helt på företagets tillgång till balkmaterial för dylika ändamål.

Arbetsbänkens höjd, d.v.s. avståndet från golv till arbetsbänk, valdes till 960 [mm]. Detta baserades på typisk höjd på arbetsbänk för en man i den 50:e percentilen (Rapp P, 2002).

För att dimensionera riggens bredd och djup analyserades utrymme för instrument, ventiler, paneler samt spindeldockans dimensioner och erforderligt utrymme för att montera slangar och förgreningar på den. I beräkningarna togs även med säkerhetsmarginaler till följd av detaljen hissas ned på arbetsytan med travers. Slutligen genomfördes, enligt kap. 3.2.3, en laboration för att fastställa att bredd och djup var rimliga i praktiken. Därefter kunde måtten, som redovisas i figur 23 nedan, fastslås.



Figur 23 – CAD-modell av balkstomme med utsatta basmått

Utifrån CAD-modeller erhöles spindeldockans vikt på 104 [Kg]. För att kontrollera stommens bärförmåga genomfördes enkla beräkningar. 50x50-profilen är grovt överdimensionerad.

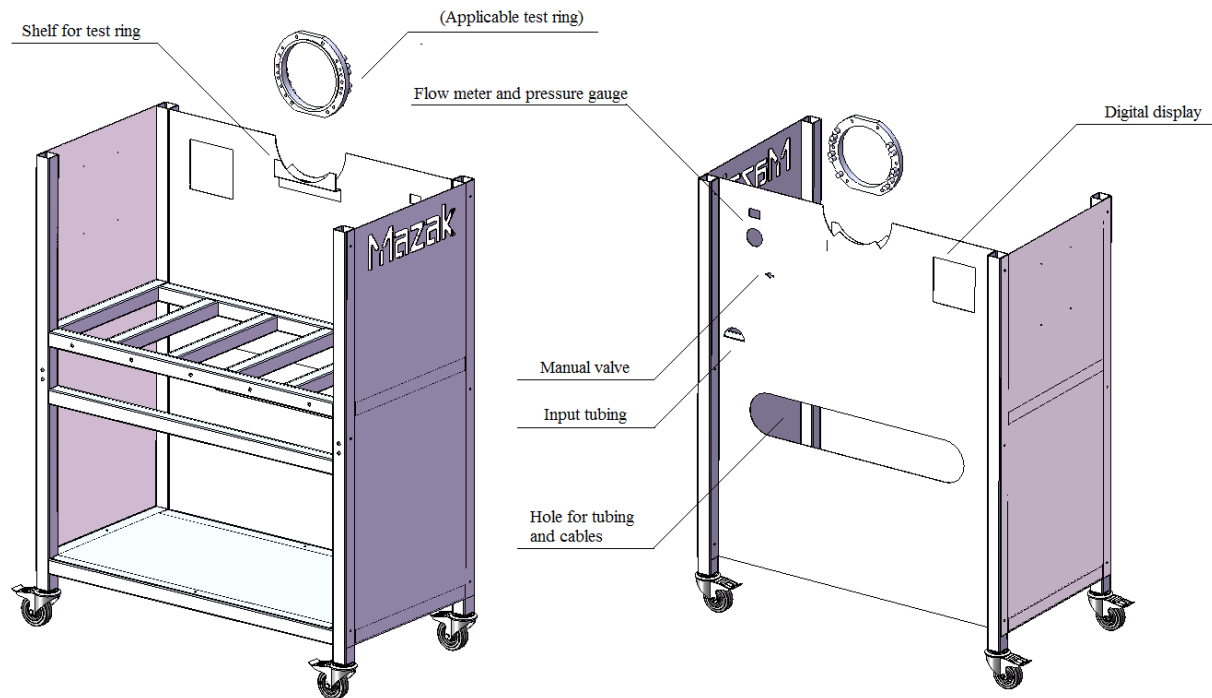
Se BILAGA 1. Sid 11(21) för fullständig ritning.

5.4.2 Plåtskärmar

Riggens plåtskärmar utformades för att både skydda omgivningen mot oljespill samt fungera som panel att fästa en stor del av riggens instrument och utrustning. De största ingreppen i plåten

konstruerades i SolidWorks för att skäras ut i laserskärare, och ingrepp såsom mindre borrhål lämnades att genomföras vid monteringsfasen då det ansågs allt för tidskrävande att dimensionerna i förhand.

Figur 24 nedan redogör skyddsskärmarnas olika funktioner. Kompletta ritningar finns bifogade i BILAGA 1. Sid 1(21).



Figur 24 – CAD-modell av skyddsskärmarna monterad på balkstommen

5.4.3 Kontrollpanel

Ett av projektets huvudmål var att skapa ett lättförståeligt test. En enkel kontrollpanel för att samla alla ventiler ansågs vara lösningen. Panelmonterade ventiler valdes för att minska operatörens distraktion av rördragning och istället frambringa fokus på ventilernas faktiska funktion. Då projektet vid detta skede hade fått budget att utveckla ett parallellt automatiskt testsystem, gjordes även rum för parallellkopplade magnetventiler¹⁷.

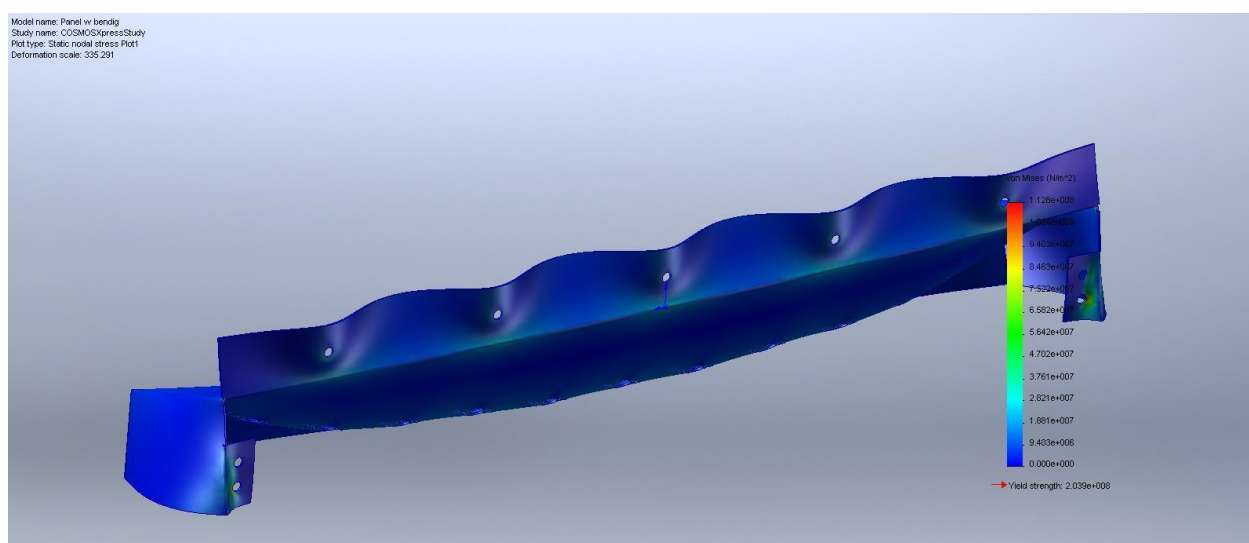
Kontrollpanelen konstruerades i Sheet Metal-verktyget i SolidWorks. På panelen gjordes utrymme för 11 stycken manuella ventiler parallellt med 11 stycken magnetventiler. Med en vikt på 11 x 216 [g] (legris.co.uk) respektive 11 x 460 [g] (docs-europe.electrocomponents.com)

¹⁷ Se kapitel 5.5.2

skulle panelen kunna bära en last på ca 7,5 [kg]. I och med panelens utsatta placering togs även risken att operatören lutar/sätter sig på panelen med i beräkningen. En FE-analys genomfördes i SolidWorks-COSMOS där det eftersträvades att panelen skulle kunna bära en last på 1000 [N] med 2 gånger säkerhetsmarginal.

Materialet SPCC, kallvalsat kolstål (Andy Haddock) med en sträckgräns på 180-240 [MPa] utvärderades (matweb.com). Då materialet inte existerade i SolidWorks materialdatabas valdes, efter jämförande av materialegenskaper, materialet *Galvanized Steel* med sträckgräns 204 [MPa].

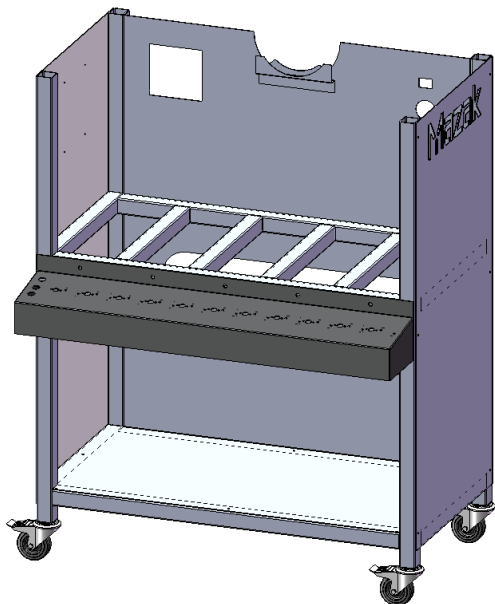
Figur 25 nedan visar en plott av von Mises-spänning med en deformationsskalning på 335 gånger. De nio skruvhålen betraktades som fast inspända och lasten på 1000 [N] placerades normalt mot panelens ovansida.



Figur 25 – FE-analys av kontrollpanel, von Mises-spänning

Max von Mises-spänning uppgick enligt analysen till 113 [MPa], vilket medförde en säkerhetsfaktor på 1,8. Analysen låg till grund för valet av skruvelement för att fästa kontrollpanelen i riggen samt plåttjockleken. Skruvelementen valdes till 9 st. M12 skruvar och plåttjockleken fastställdes till 2,3 [mm] efter laboration i med FE-modellen

För fullständig ritning av panel se BILAGA 1. Sid 8(21).



Figur 26 – CAD-modell med kontrollpanel monterad på riggstommen

Bild 26 ovan visar en CAD-modell med kontrollpanelen monterad på riggstommen. Kompletta ritningar finns bifogade i bilagor.

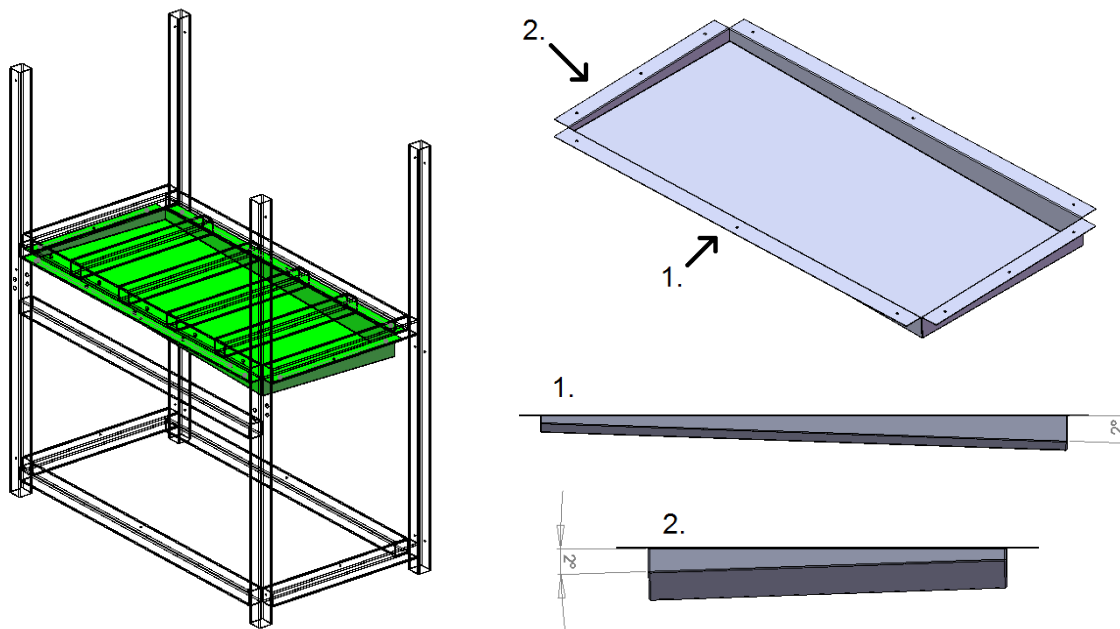
5.4.4 Spillbricka

För att minimera oljespill från testet var det nödvändigt att utrusta riggen med en uppsamlande spillbricka. Denna måttsattes för montage under tvärstagen till arbetsbänken. Brickan konstruerades i Sheet Metal-verktyget i SolidWorks för att kunna skickas direkt till produktion utan omkonstruktion av Mazaks konstruktörer.

I samspråk med *Sheet Metal Department* valdes 1,6-millimetersplåt i och med att brickan inte skulle ha någon bärande funktion. 2,3-millimetersplåt fanns även tillgänglig, men denna bedömdes vara för tjock och otymplig för ändamålet. Vidare förinställdes SolidWorks med bockningsradie 0,2 [mm] och k-faktor¹⁸ 0,113743. (Lawrence Savage)

Vid konstruktionen av brickan skapades ett referenshörn, varifrån 2-graders lutning angavs i x- och y-led. Detta medgav lutning i två led vilket medförde att hörnet diagonalt från referenshörnet blev brickans lägst belägna punkt. Här placerades ett hål var en gängad hylsa kunde svetsas fast. Från hylsan kunde senare en dräneringsslang dras tillbaka till pumptanken.

¹⁸ Kompensationsfaktor - Materialparameter som används för att beräkna materialåtgång för en bockning för att behålla önskade dimensioner hos arbetstycket. Se kap 2.2.



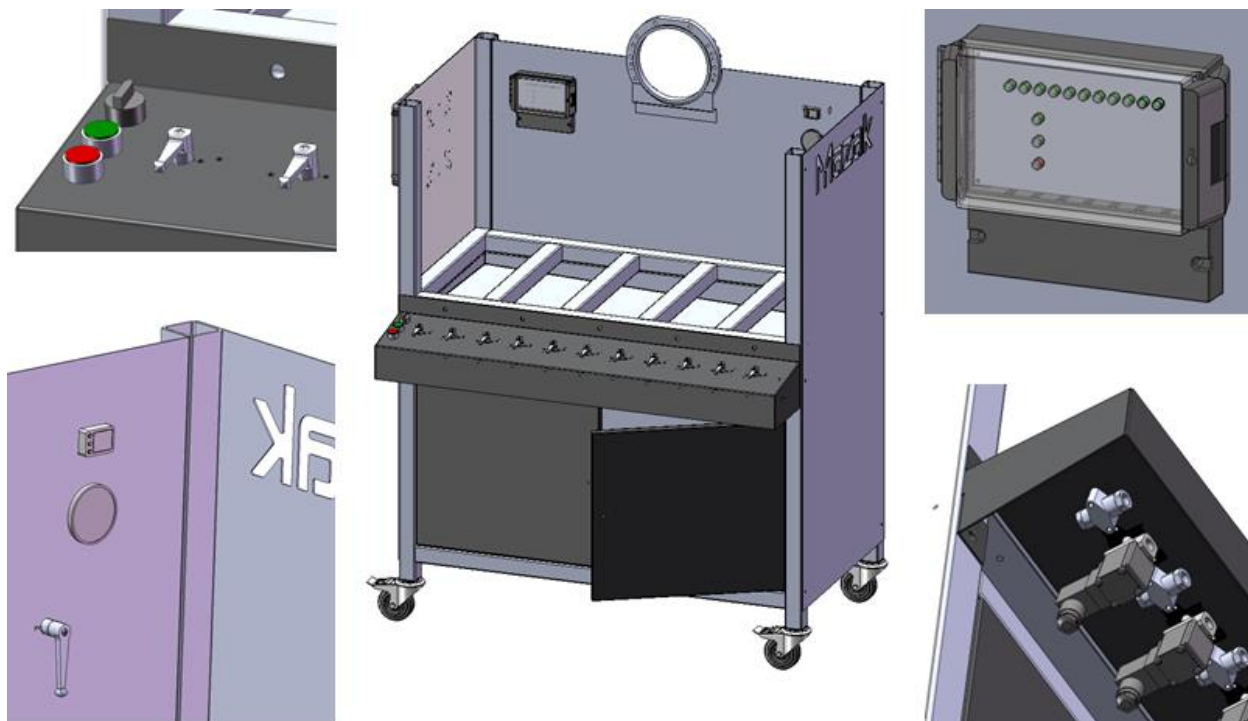
Figur 27 – t.v. CAD-modell av spillbrickan monterad på balkstommen. t.h. illustration av spillbrickans utformning.

Bild 27 ovan visar t.v. en CAD-modell av spillbrickan monterad under ramen och t.h. en illustration av brickans konstruktion. Se BILAGA 1. Sid 6(21) för fullständig ritning.

5.4.5 CAD-modell

Slutligen skapades en sammanställning av systemet i en CAD-assembly. I denna utelämnades elektriskt och hydrauliskt system då detta bedömdes onödigt tidskrävande samt att det inte skulle fylla någon större funktion.

I figur 28 nedan visar riggsammanställningen i bilden i mitten omgiven av detaljbilder. Bilden i undre högra hörnet visar de manuella ventilerna parallellt med magnetventilerna under kontrollpanelen.

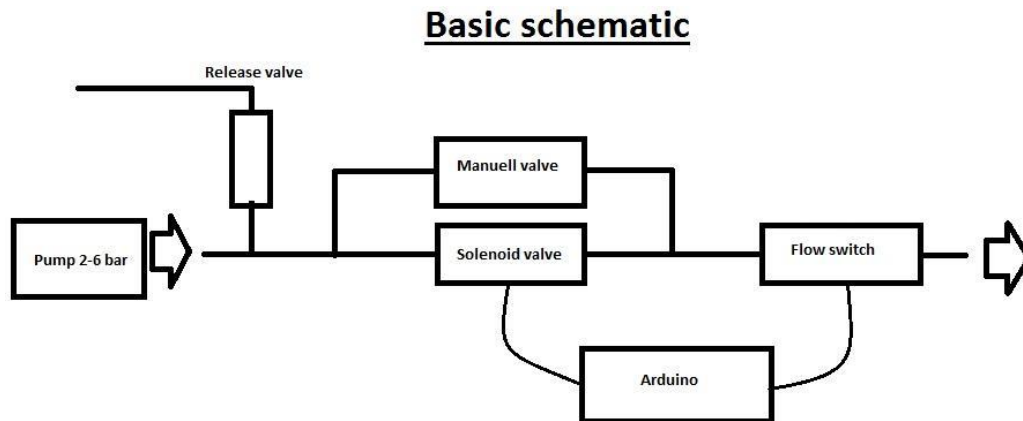


Figur 28 – CAD-assembly av testriggen omgivet av detaljbilder

5.5 Automation och Elektronik

Avsnittet beskriver testriggens automatiska system, valet av komponenter samt hur komponenterna interagerar med varandra.

Riggen består av tolv stycken magnetventiler som ska öppnas och stängas i en specifik ordning. Varje magnetventil styr flödet i en unik kanal. En flödesmätare läser av flödet i kanalerna och skickar analoga signaler till kontrollerkortet som kortet tolkar. Kontrollerkortet bedömer därefter huruvida flödet är acceptabelt eller ej och indirekt om borrhningen är godkänd. Figur 29 nedan är en tidig pricipskiss.



Figur 29 – Tidig pricipskiss av styrsystem

Kortet kommunicerar därefter till operatören via lysdioder och operatören kommunicerar med kortet via knappar.

5.5.1 Mikrokontrollerkort

Kontrollerkortet “*Arduino Mega 2560*” valdes då erfarenhet av kortet fanns sedan tidigare, det disponerar en stor uppsättning in- och utgångar, vilket framgår i figur 30, samt är enkelt att få tag på.

Det finns 54 digitala I/O pinnar och 16 analoga (se figur 30 ovan). De digitala pinnarna används huvudsakligen till att slå av och på komponenter, de analoga till att läsa av värden från t.ex. sensorer.

Arduinos analoga ingångar konverterar linjärt en spänning inom intervallet, 0 till 5 volt, till ett digitalt värde mellan 0 - 1023. Det medför att de analoga ingångarna har en upplösning på 10 bitar då $2^{10} = 1024$.

Varje I/O kan förse eller motta ca 40 [mA] vid 5 volt. Det innebär att komponenter som kräver ytterligare effekt får nyttja en annan energikälla eller att sensorer som skickar starkare signalströmmar behöver strypas.

Kortet bör inte leverera mer än 200 [mA] totalt²¹.

5.5.2 Flödesmätare

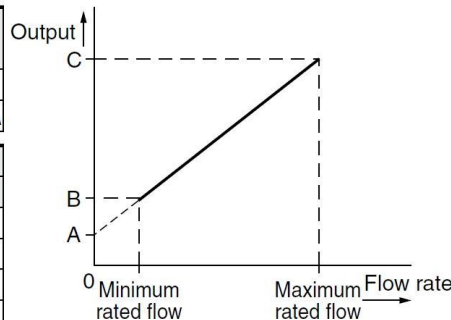
Flödesmätaren, PF3W704-F03-EN-M, levererar en analog utsignal på 1 till 5 volt som linjärt följer flödet som mäts enligt figur 31.

Analog Output

Flow rate/Analog output

	A	B			C
		4/16/40	100	250	
Voltage output	1 V	1.5 V	1.4 V	1.8 V	5 V
Current output	4 mA	6 mA	5.6 mA	7.2 mA	20 mA

Model	Rated flow [L/min]	
	Minimum	Maximum
PF3W704/504	0.5	4
PF3W720/520	2	16
PF3W740/540	5	40
PF3W711/511	10	100
PF3W721/521	50	250



Figur 31 - Plott visande flödesmätarens analoga utsignals linjära förhållande till flödet (<http://ca01.smcworld.com>)

Den valda flödesmätaren ligger inom intervallet 0,5 - 4 [L/min] och således erhålls den linjärekvationen:

$$Utsignal [V] = Flödet \left[\frac{L}{min} \right] + 1 \quad (5.5.2.1)$$

²¹ Råder delade meningar om detta och vissa källor hävdar 800 mA om rätt pinnar används

Flödesmätarens utsignal tolkas av kontrollerkortets analoga ingång enligt formeln:

$$Mätvärde = Utsignal * \frac{1023}{5} \quad (5.5.2.2)$$

För att lösa ut förhållandet mellan kontrollerkortets mätvärde och flödet så löses ekvationssystemet (5.5.2.1) och (5.5.2.2) ovan och följande förhållande erhålls:

$$\begin{aligned} Mätvärde &= (Flöde + 1) * \left(\frac{1023}{5}\right) \Rightarrow \\ Flöde &= Mätvärde * (5/1023) - 1 \end{aligned} \quad (5.5.2.3)$$

Med informationen ovan går det nu att tolka signalen från flödesmätaren till ett flöde i liter per minut.

Utsignalen som flödesmätaren levererar stryps i mätaren av 1000 ohms resistor vilket medför att största signalström enligt ohms lag, ekvation (2.3.1), uppgår till $5/1000 = 5$ [mA].

Då 5 [mA] är mindre än 40 [mA], som är högsta tillåtna I/O ström på kontrollerkortet, kan signalkabeln kopplas in direkt till Arduinons analoga ingång.

Flödesmätaren skall förses med 12 till 24 [VDC] $\pm 10\%$.

5.5.3 Magnetventil

Magnetventilerna, VX233AGAXB, är av typen "*Normally closed*" vilket medför att om ingen ström ligger över spolen är den stängda.

Magnetventilerna skall förses med 24 VDC $\pm 10\%$. Vid normaldrift är effekten 10,5 [W] vilket medför att strömmen enligt effektekvationen (2.5.1) ligger på:

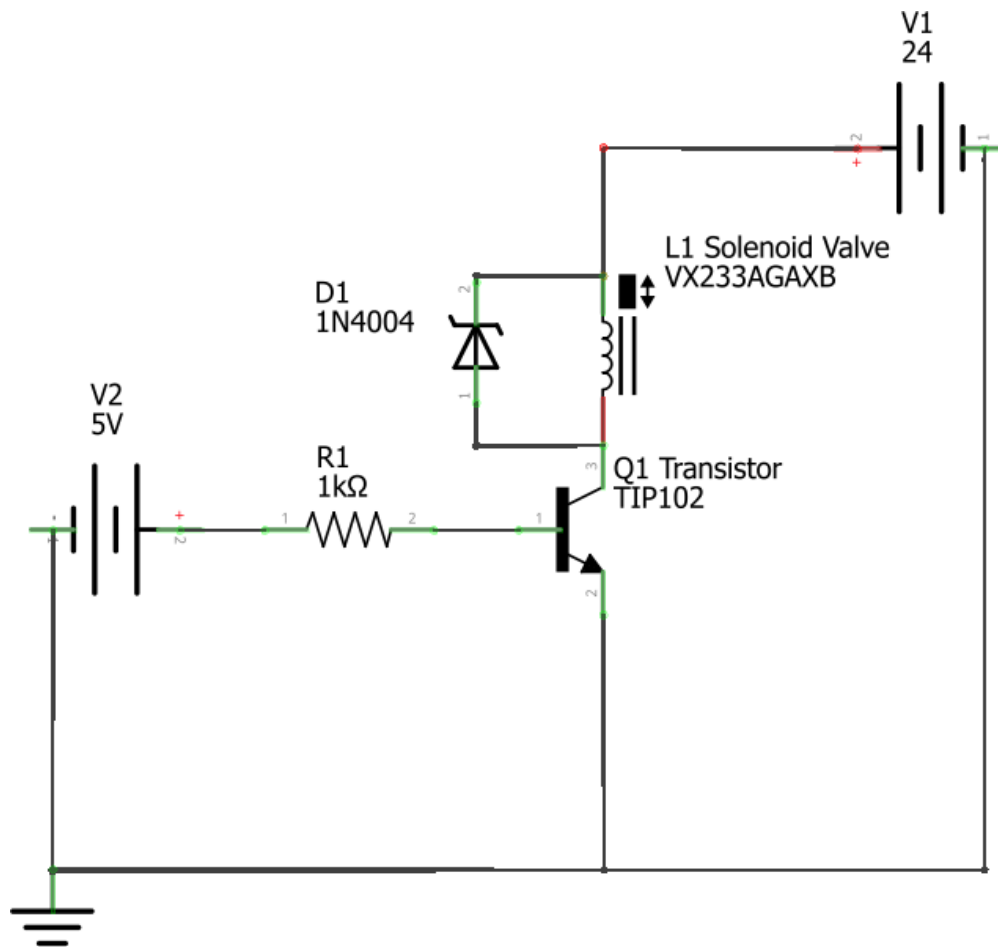
$$10,5 [W]/24 [V] = 0,4374 [A] \quad (5.5.3.1)$$

Med tolv magnetventiler uppgår maximala strömförbrukningen till $12 * 0,4374 = 5,2488$ [A].

5.5.4 Transistor

För att säkerställa god drift bör kontrollerkortet inte leverera mer än 200 [mA] totalt genom sina utgångar. Det medför att enheter såsom magnetventiler, flödesmätare och dylikt som förbrukar större strömmar, ofta vid högre spänning, behöver sin ström från en annan källa.

I detta fall nyttjas transistorer som genom små styrsignaler öppnar upp för en större huvudström enligt figur 32 nedan



fritzing

Figur 32 - Exempel hur en styrsignal till basen på transistor öppnar upp för en större huvudström

För att minimera strömmen som kontrollkortet behöver leverera till transistorns bas, och därmed öppna magnetventilen, utvärderades Darlington transistorn, TIP102, som är designad för generella applikationer. Darlington transistorn består av två stycken bipolära transistorer vilket leder till att en mycket mindre ström krävs från Arduinokortet för att öppna transistorn (se figur 33).

Kraven är att transistorn skall klara av:

- En huvudspänning på 24 volt med marginal
- En huvudström upp till 1 [A]
- En basström, I_b , mindre än 10 [mA]
- Ett spänningsfall över transistorns emitter-kollektor som är mindre än 2.4 volt i enlighet med magnetventilernas matningsspänning på $24 \pm 10\%$ volt
- Klara av att leda bort den värme som uppstår

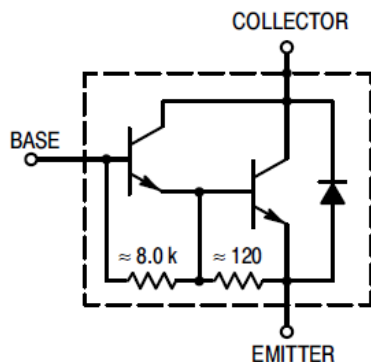
Nedan följer utvald information från TIP102's databladet.

Tabell 10 - Data för TIP102 (<http://www.onsemi.com/>)

TIP102			
Maximum Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Collector Emitter/Base Voltage	V _{CEO} , V _{CB}	100	V _{dc}
Maximum Continuous Collector Current	I _C	8	A _{dc}
Maximum Operating Temperature	T _J	150	°C
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R _{θJA}	62,5	K/W

Transistorn uppfyller kravet på spänning och ström då $100 > 24$ [V] och $8 > 1$ [A] vilket framgår ur tabell 10 ovan.

Beräkningarna nedan syftar till att bestämma basströmmen, I_b , för att därefter bestämma lämpligt motstånd med hjälp av ohms lag samt Kirchhoffs spänningslag.

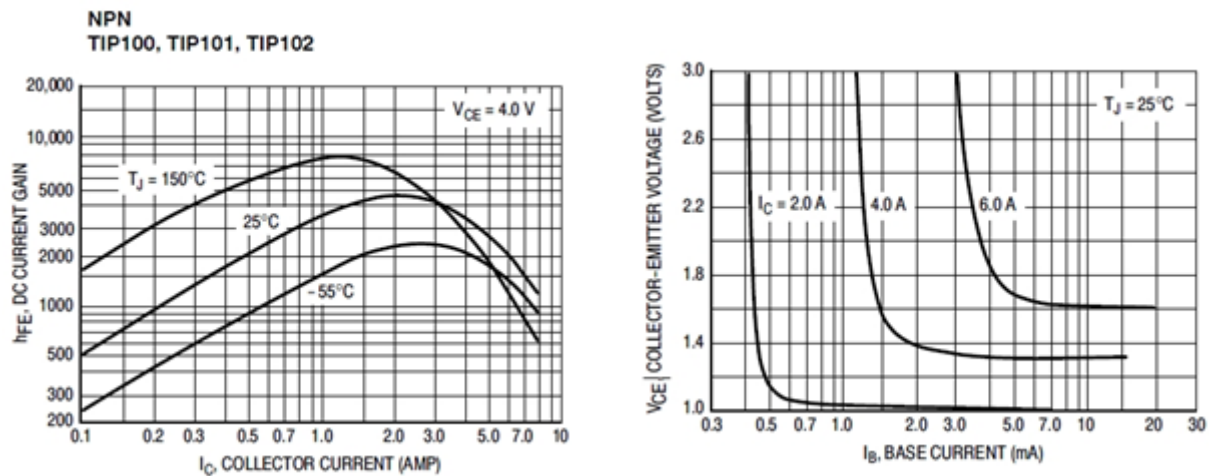


Figur 33 – Schematiskbild av en Darlington transistor (<http://www.onsemi.com/>)

För att bestämma basströmmen behövs först utvald data. Inledningsvis uppskattas huvudströmmen, I_c . Det görs genom att ta magnetventilens effekt och dela denna med spänningen på samma vis som ekvation (5.5.3.1) ovan.

$$I_c = \frac{P_{L1}}{V} \Rightarrow I_c = \frac{10,5}{24} = 0,4375 \approx 0,5 \text{ [A]} \quad (5.5.4.1)$$

När kollektorströmmen är känd läses strömförstärkningsfaktorn, h_{FE} , från figur 34 nedan.



Figur 34 – Grafer från TIP102 datablad (<http://www.onsemi.com/>)

Data för transistorns förstärkning, h_{fe} , samt spänningsfallet, V_{CE} , V_{BE} @ $I_C = 0,5 \text{ [A]}$ och $T_J = 25$ grader, hämtas från transistorns manual och uppgår till:

Tabell 11 – Data för TIP102 (<http://www.onsemi.com/>)

h_{fe}	2000	(figur 34 t.v)
V_{CE}	1	(figur 34 t.h)
V_{BE}	2,8	(http://www.onsemi.com/)

Det finns nu tillräckligt med data för att lösa ut basströmmen och därefter en adekvat resistor enligt ekvation (2.7.1):

$$I_C = h_{fe} * I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{h_{fe}} = \frac{0,5}{2000} = 0,25 \text{ [mA]} \quad (5.5.4.2)$$

Därefter nyttjas Kirchhoffs spänningslag, ekvation (2.4.1), som med det erhållna värdet från ekvation (5.5.4.2) samt data från tabell 11 ger (se figur 32 ovan):

$$V_2 - I_b * R_1 - V_{BE} = 0 \Rightarrow R_1 = \frac{V_2 - V_{BE}}{I_b} = \frac{5 - 2,8}{25 * 10^{-5}} = 8800 \Omega \quad (5.5.4.3)$$

För att transistoren skall släppa igenom $0,5 \text{ [A]}$ till magnetventilen krävs en basström på minst $0,25 \text{ [mA]}$. Det medför att motståndet på resistorn enligt ekvation (5.5.4.3) som störst skall vara 8800 ohm .

Då transistorn endast skall nyttjas som ett relä finns det dock goda skäl att välja en mindre resistor och därmed öka basströmmen. Det skapar en säkerhetsmarginal gällande flödet av huvudströmmen och minskar spänningsfallet över transistorns kollektor-bas.

Istället för en 8,8k resistor väljs en 1k resistor. Det medför en basström på:

$$I_b = \frac{5 - 2,8}{1000} = 2,2 \text{ [mA]} \quad (5.5.4.4)$$

Basströmmen, I_b , på 2,2 [mA] är mindre än transistorns begränsning på 1 [A] för basströmmen samt är en ström Arduino Mega kortet kan leverera då det är mindre än 40 [mA] som är max per I/O.

Med ett spänningsfall över transistorn på 1 volt leder det till att spänningen över magnetventilen är 23 volt vilket ligger inom det godkända intervallet på $24 \pm 10\%$ volt.

Transistorns värmeutveckling behöver även undersökas så att ingen transistor blir överhettat.

Transistorns värmeförlust uppgår till:

$$P_D = V_{CE} * I_C + V_{BE} * I_B = 1 * 0,5 + 2,8 * 0,0022 = 0,506 \text{ [W]} \quad (5.5.4.5)$$

där effektförlusten uppgår till komponentens spänningsfall multiplicerat med strömmen.

Transistorns termiska motstånd samt högst tillåtna temperatur hämtas ur tabell 10 ovan och sätts in i ekvation (2.6.2). Då erhålls att transistorns högst tillåtna värmeförlust kan uppgå till

$$P_{D(max)} = \frac{150 - 30}{62,5} = 1,92 \text{ [W]} \quad (5.5.4.6)$$

Då $0,506 < 1,92 \text{ [W]}$ bör värmeutvecklingen inte orsaka några problem.

5.5.5 Spänningsregulator

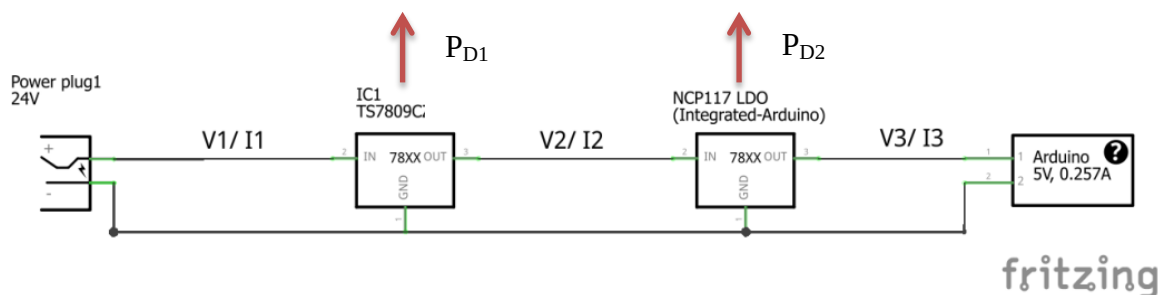
För att förse Arduinon med 5 volt behöver vi reglera spänningen som ligger på 24 volt.

Arduinon kan matas med en spänning mellan 7-12 volt enligt manualen. För att åstadkomma önskad spänning nyttjas spänningsregulatorn TS7809CZ som är fixerad vid en utspänning på 9 volt. Då spänningen regleras ned med en linjär spänningsregulator förloras relativt stora mängder energi som omvandlas till värme. Generellt gäller att $I_1 \approx I_2$ (se figur 35) vilket medför att energiförlusten uppgår till spänningsfallet multiplicerat med strömmen.

$$P_{D1(max)} = (V1 - V2) * I = (24 - 9) * 0.257 = 3.855 [W] \quad (5.5.5.1)$$

Värmeförlusten måste kopplas till den valda spänningsregulatorn för att utvärdera om komponenten klarar av att leda bort tillräckligt med värme.

Ur bruksanvisningen för den valda spänningsregulatorn (<http://www.taiwansemi.com>) erhålls att max tillåtna temperatur är $T_J = 125^\circ$. Omgivningens temperatur uppskattas till $T_A = 25^\circ$.

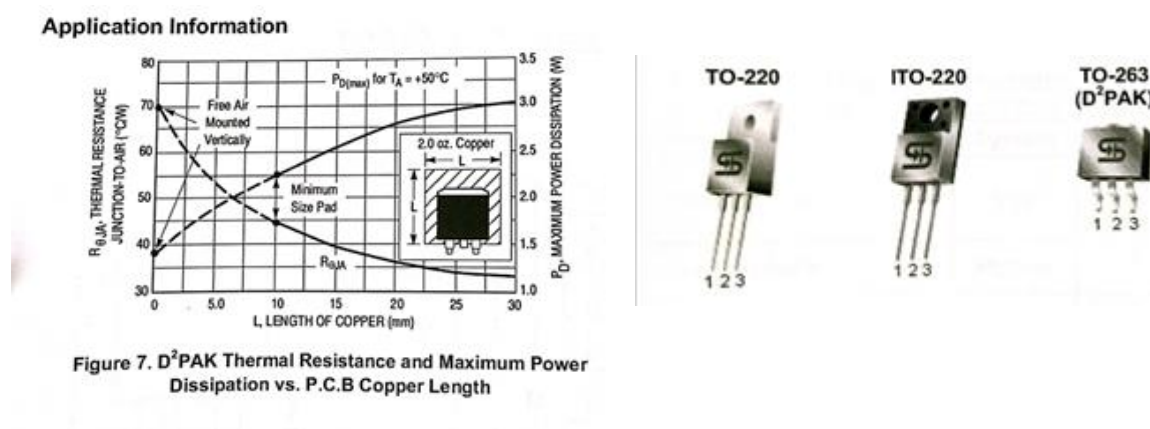


Figur 35 – Värmeförlust för spänningsregulatorer från 24 volt till 9 volt till 5 volt

Enligt ekvation (2.6.2) beräknar vi spänningsregulatorns högst tillåtna termiska motstånd enligt:

$$R_{\theta JA} = \frac{(T_J - T_A)}{P_d} = \frac{125 - 30}{3,855} = 25,94 \left[\frac{K}{W} \right] \quad (5.5.5.2)$$

Spänningsregulatorns termiska motstånd utan någon kylfläns uppgår enligt figur 36 nedan till ca 70 [K/W].

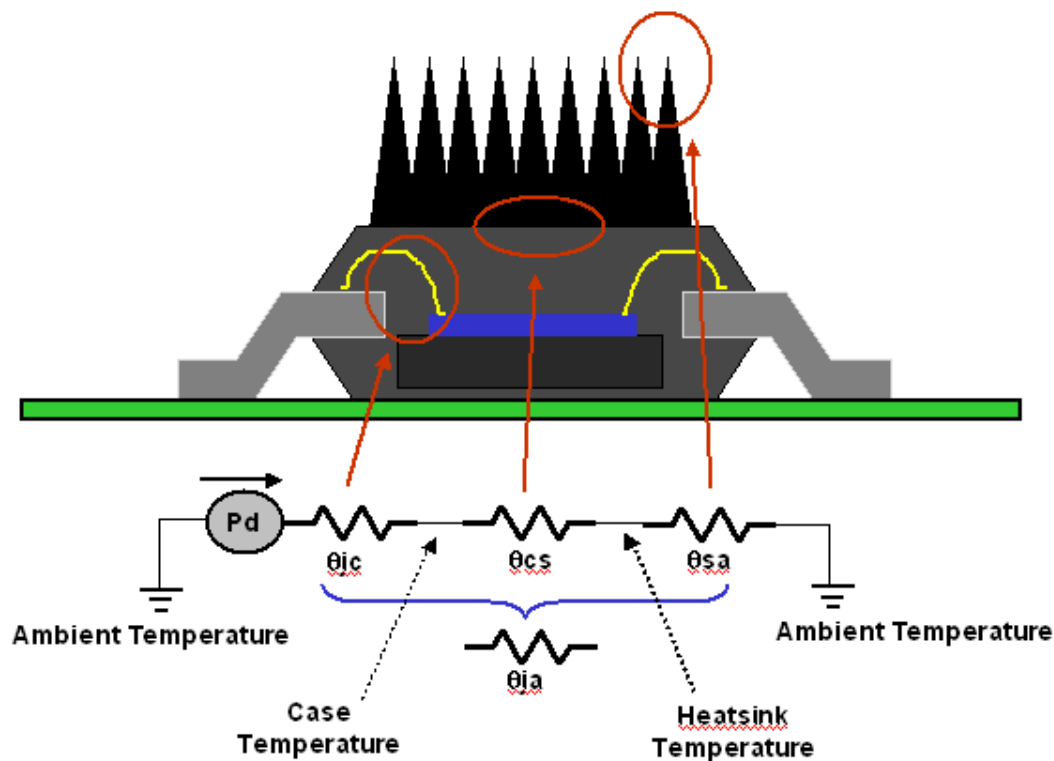


Figur 36 – Termiskt motstånd för TO-263 (<http://www.taiwansemi.com/>)

Dock berör grafen ovan spänningsregulatorn i förpackningen TO-263 medan den aktuella regulatorförpackningen är av modellen TO-220 (se figur 36 ovan). Data för TO-220 visar på ett termiskt motstånd på ca 34 [K/W] utan kylfläns vilket dock fortfarande överstiger det maximalt tillåtna på 25,94 [K/W].

För att minska det termiska motståndet monteras en tidigare inköpt kylfläns, FK 220 SA 220 (25[K/W]), med kylpasta på regulatorn.

För att beräkna det nya termiska motståndet med kylflänsen får man nu dela upp regulatorn i tre olika stycken, θ_{jc} (joint-chassi), θ_{cs} (chassi-shink) och θ_{sa} (sink-ambient) och ta summan av dessa.



Figur 37 – Schematisk bild över en regulator med kylfläns (Hunter, B., Rowland, P., 2003, sid.9)

Motståndet för joint-chassi finns att hämta i produktbladet medan chassi-sink får uppskattas beroende på kylpasta eller annat medium mellan komponenterna. Riktvärden är ca 0.1-1 [K/W] med kylpasta och upp till 5 [k/W] utan (Hunter, B., Rowland, P., 2014, ss.10).

Det nya termiska motståndet uppgår till:

$$R_{\theta JA} = R_{\theta JC} + R_{\theta CS} + R_{\theta SA} = 3 + 1 + 25 = 29 \left[\frac{K}{W} \right] \quad (5.5.5.3)$$

Då $29 > 25,94$ [K/W] kommer regulatören vid fullbelastning bli överhettad, därav behövs en effektivare kylfläns alternativt en stryktåligare regulator inköpas.

Regulatören har emellertid inbyggt termiskt skydd som slår av komponenten vilket innebär att ingen utrustning kommer ta skada vid eventuell överhettning.

För att få ett stabilt system med god säkerhetsmarginal köptes kylflänsen, LS140, in med ett termiskt motstånd på $9,9$ [K/W] samt en termiskfilm på $1,1$ [K/W] som ligger mellan transistor och kylfläns.

De nya värdena förs in i ekvation (5.5.5.3) ovan:

$$R_{\theta JA} = R_{\theta JC} + R_{\theta CS} + R_{\theta SA} = 3 + 1,1 + 9,9 = 14 \left[\frac{K}{W} \right] \quad (5.5.5.4)$$

Då $14 < 25,94$ [K/W] erhålls en god säkerhetsmarginal emot överhettning. Löses omgivningstemperaturen, T_A , ut ur ekvation (2.6.2) erhålls:

$$P_d = \frac{(T_J - T_A)}{R_{\theta JA}} \Rightarrow T_A = T_J - (P_d * R_{\theta JA}) = 125 - (3,855 * 14) = 71,03 [^{\circ}C] \quad (5.5.5.5)$$

Vilket medför att omgivningstemperaturen kan uppgå till 71 [$^{\circ}C$] innan det utgör ett problem för spänningsregulatören.

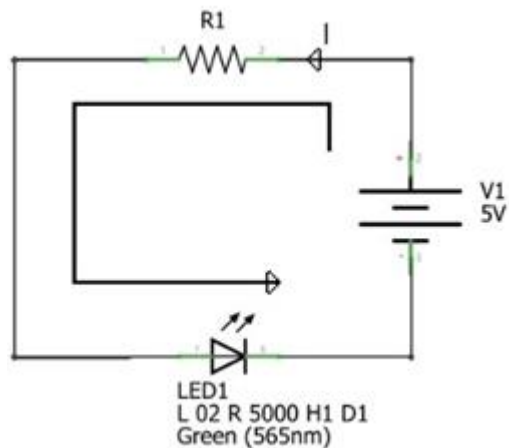
Kondensatorerna som används med spänningsregulatören är valda utifrån rekommendationerna i manualen och syftar till att jämma ut volten.

5.5.6 Lysdioder

Fjorton lysdioder används för att kommunicera med operatören. Elva stycken är dedikerade till magnetventilerna och beskriver vilken borrhning som för tillfället testas medan de resterande tre är mer generella och beskriver t.ex. om processen stött på problem.

Tabell 12 – Data för lysdioder

Name	V	Color	Forward Voltage @20mA [V] (TYP.)	Forward Voltage @20mA [V] (MAX.)	Current [mA] (MAX.)
L 02 R 5000 H1 D1	5	Green	2,1	3,0	30
L 07 R 5000 H1 D1	5	Red	1,9	2,5	30



Figur 38 – LED Schematisk bild för LED

Med informationen ur databladet, tabell 12, nyttjas Kirchhoffs spänningslag och sedan ohms lag enligt ekvation (2.4.3), på kretsen i figur 38 för att beräkna vilket motstånd, R_1 , som erfordras för en adekvat ström. Spänningsfallet över lysdioden antas vara 2 volt vilket blir medelvärde på de röda och gröna lysdioderna enligt tabell 12 ovan.

$$5 - I * R_1 - 2 = 0 [V] \quad (5.5.6.1)$$

$$I = 20 [mA] \text{ (Rekommenderat värde)}$$

Ekvation (5.5.6.1) och strömmen 20 [mA] bildar tillsammans

$$R_1 = \frac{5 - 2}{I} = \frac{3}{20 * 10^{-3}} = 150 [\Omega] \quad (5.5.6.2)$$

Motstånd på 100 ohm respektive 220 ohm finns att tillgå vilket leder till en ström på:

$$5 - I * 100 - 2 = 0 \Rightarrow I = \frac{5 - 2}{100} = 30 [mA] \quad (5.5.6.3)$$

alternativt

$$5 - I * 220 - 2 = 0 \Rightarrow I = \frac{5 - 2}{220} = 13,6 [mA] \quad (5.5.6.4)$$

Bägge alternativ ovan är lika med eller under 30 [mA] och uppfyller därmed LED-ernas strömkriterium.

Efter utförda ljusstyrketester med 100 ohm respektive 220 ohm resistor valdes 220 ohm då ljusstyrkan i båda fallen upplevdes acceptabel. Då vissa uppsättningar I/O pinnar inte bör leverera mer än 200 [mA] totalt blir 220 ohms resistorer ett lämpligare alternativ.

5.5.7 Nätaggregat

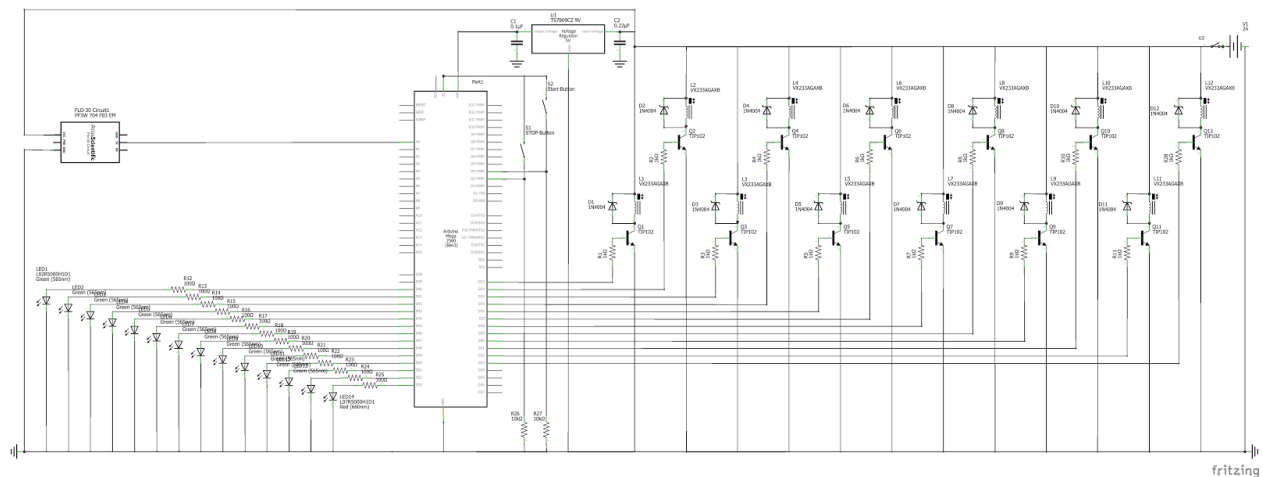
Nätaggregatet "HWS150 – 24" valdes då detta fanns tillgängligt i fabriken samt att det levde upp till samtliga kriterier.

Inmatningen skall ligga inom intervallet 85 – 265 [VAC] (47 – 63 Hz) eller 120 – 370 [VDC] vilket medför att nätaggregatet kan användas globalt och inte enbart i England där nätspänningen normalt ligger på 230-240 [VAC], 50 [Hz].

Utmatningen ligger på 24 [VDC] och kan maximalt leverera upp till 6,5 [A]. Då systemet innehåller 12 magnetventiler som vardera förbrukar 0,4375 [A] vid 24 volt samt kontrollerkortet med externa komponenter blir maximal strömförbrukning $12 \cdot 0,4375 + 0,2368 = 5,4868$ [A] vilket understiger nätaggregatets 6.5 [A].

5.5.8 Elschema, kontroll och färdigställande

När samtliga komponenter fastställts upprättas övergripande elschema (figur 39) som tillverkningen utgår ifrån.



Figur 39- Riggens elschema (se BILAGA 4 för större format)

För att säkerställa att kontrollerkortet inte övertrasserar sina begränsningar summeras alla strömmar.

Total strömförbrukning för Arduinokortet och dess externa komponenter om alla hypotetiskt är påslagna samtidigt blir:

Tabell 13 - Strömförbrukning

Part	Qty.	Ström per enhet [mA] @ 5V	Totalt [mA] @ 5V
LED	14	13,6	190,4
Transistor	12	2,2	26,4
Summa Externt			216,8
Arduino	1	20	20
Summa Totalt			236,8

Utifrån tabell 9 i avsnittet om Arduinon utläses på sista raden att maximal ström som kretsen Atmega2560 bör leverera är 200 mA från Vcc till jord.

Dock består Atmega2560 av fyra stycken Vcc och jord I/O och huruvida det innebär att Arduinon totalt kan leverera $4 \cdot 200 = 800$ [mA] är oklart och efter intensivt letande, för tidskrävande att reda ut.

Då spänningen för de externa komponenterna ovan ligger på $216,8 > 200$ [mA] skulle det kunna medföra problem. Dock är aldrig alla komponenterna aktiva vid samma tillfälle och skulle så ske rent hypotetiskt bör kortet kunna hantera någon milliampere utöver.

Däremot framgår det tydligt att vissa uppsättningar med I/O inte får övertrassera vissa strömmar vilket undersöks nedan.

I dokumentationen för mikrokontrollen (Atmel, 2014, ss.356) utläses²²:

“Although each I/O port can source more than the test conditions (20mA at VCC = 5V, 10mA at VCC = 3V) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:

ATmega640/1280/2560:

1)The sum of all IOH (INPUT-OUTPUT-HIGH), for ports J0-J7, G2, A0-A7 should not exceed 200mA.

2)The sum of all IOH, for ports C0-C7, G0-G1, D0-D7, L0-L7 should not exceed 200mA.”

För att säkerställa kraven ovan upprättas en lista över de berörda in- och utgångarna.

²² Se BILAGA 5. Sid 1(1) för de I/O (pins) som åsyftas

Tabell 14 – Summering av strömmar och från vilka portar dessa levereras ifrån

1)	Port	Pin	Enhet	Ström [mA]	2)	Port	Pin	Enhet	Ström [mA]
	J0	D15	N/A			C0	D37	N/A	
	J1	D14	N/A			C1	D36	N/A	
	J2-J7	N/A	N/A			C2	D35	N/A	
	G2	D39	N/A			C3	D34	N/A	
	A0	D22	TIP102	2,2		C4	D33	TIP102	2,2
	A1	D23	TIP102	2,2		C5	D32	TIP102	2,2
	A2	D24	TIP102	2,2		C6	D31	TIP102	2,2
	A3	D25	TIP102	2,2		C7	D30	TIP102	2,2
	A4	D26	TIP102	2,2		G0	D41	LED	13,6
	A5	D27	TIP102	2,2		G1	D40	LED	13,6
	A6	D28	TIP102	2,2		D0	D21	N/A	
	A7	D29	TIP102	2,2		D1	D20	N/A	
						D2	D19	N/A	
						D3	D18	N/A	
						D4-D6	N/A	N/A	
						D7	D38	N/A	
						L0	D49	LED	13,6
						L1	D48	LED	13,6
						L2	D47	LED	13,6
						L3	D46	LED	13,6
						L4	D45	LED	13,6
						L5	D44	LED	13,6
						L6	D43	LED	13,6
						L7	D42	LED	13,6
SUM			1)	17,6 [mA]				2)	144,8 [mA]

Då både $17,6 < 144,8 < 200$ [mA] bör kortet klara av att leverera nödvändig ström. De återstående 4 LED-erna uppgår till 54,4 [mA] och utgör således inget hinder.

5.5.9 Programmering

Inledningsvis upprättas ett flödesschema för att ha en struktur att efterfölja vilket kan ses under BILAGA 6. Sid 1(1).

Koden skrevs modulärt där majoriteten av koden ligger i funktioner som anropas. Alla parametrar av intresse, såsom acceptabelt flöde, ligger överst och är enkla att ändra även för en ovan programmerare. Se BILAGA 7. Sid 1-8(8) för fullständig kod.

6. TILLVERKNING OCH FUNKTIONSFASTSTÄLLANDE

Kapitlet beskriver projektets slutfas, från tillverkning till färdig fungerande produkt.

6.1 Tillverkning och montering

Ritningar anpassades efter Mazak-standard enligt mall. Dessa skickades sedan via *Sheet Metal Department* för kontroll före vidarebefordring till tillverkning. Till riggens stomme kapades materialet och svetsades samman i plåtverkstaden. Resterande delar var av plåt och bereddes för att laserskäras och bockas. Efter tillverkning erhöles samtliga delar för att provmonteras före lackering, vilket illustreras i figur 40 nedan. Här justerades passform av bland annat sidoplåtarna.



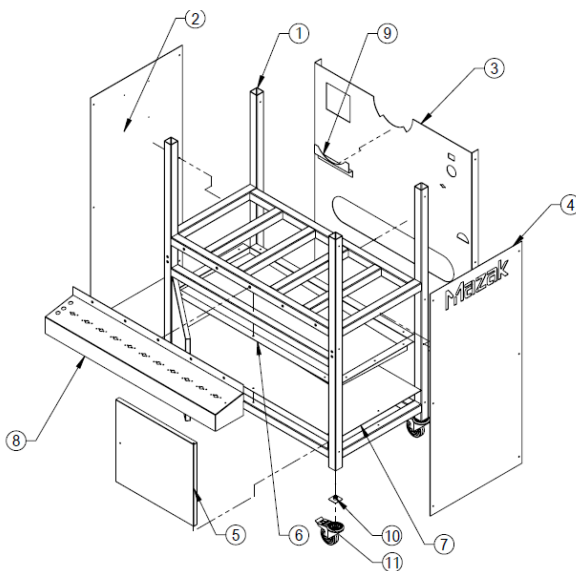
Figur 40 - Provmontering av skyddsskärmar

Då delarna lackerats kunde riggens stomme monteras. Alla ventiler och magnetventiler försågs med slangkopplingar och monterades på kontrollpanelen, enligt figur 41.



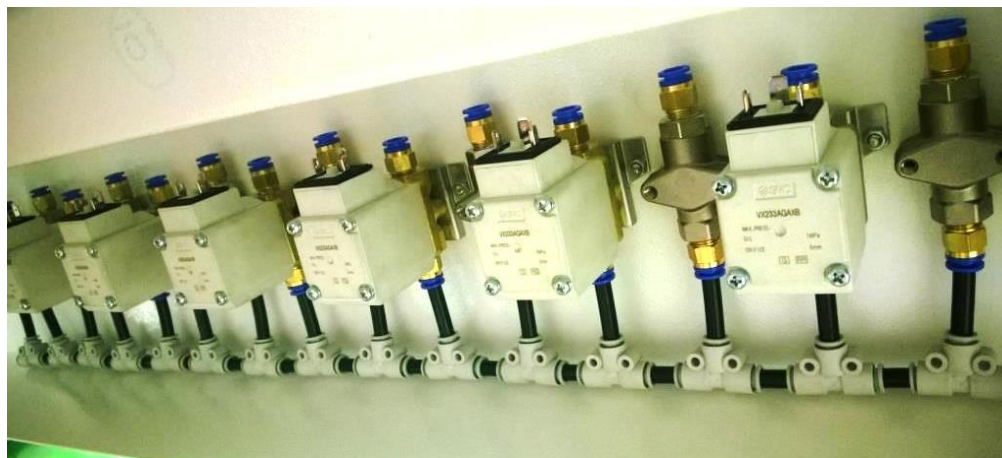
Figur 41 – Ventiler förses med slangkopplingar t.v. och monteras under kontrollpanel t.h.

Riggens huvudkomponenter monterades samman, inklusive kontrollpanelen, enligt figur 42 nedan.



Figur 42 – t.v. de största riggdelarna monterade. t.h. sprängskiss från assembly-ritning

Därefter påbörjades det hydrauliska systemet genom monteringen av slangar och slangkopplingar till kontrollpanelen enligt figur 43.



Figur 43 – Magnetventiler och manuella ventiler kopplas med T-kopplingar till utflödet

Slangdragningen från de manuella och magnetiska ventilerna parallellkopplades (se kopplingsschema i figur 19, kapitel 5.3.1) till förgreningsringen enligt figur 44.



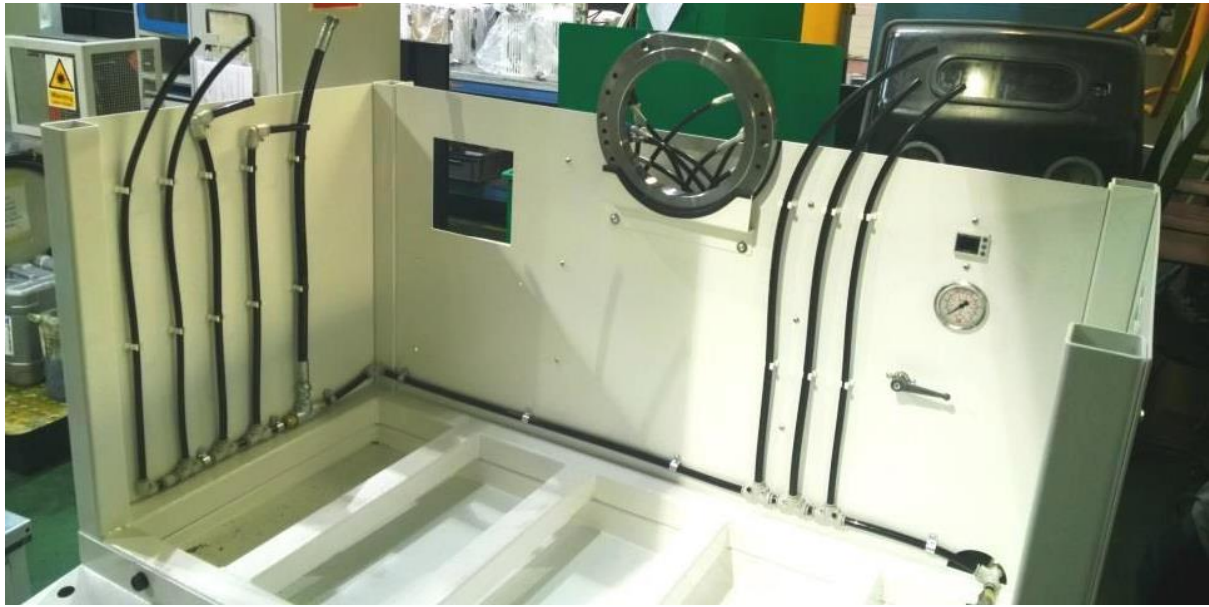
*Figur 44 – t.v. magnetventiler och manuella ventiler parallellkopplas med Y-koppling.
t.h. nylonslang sammankopplar testring med Y-kopplingar*

Riggens inflöde med huvudventil, flödesmätare och tryckmätare kopplades in enligt figur 45.

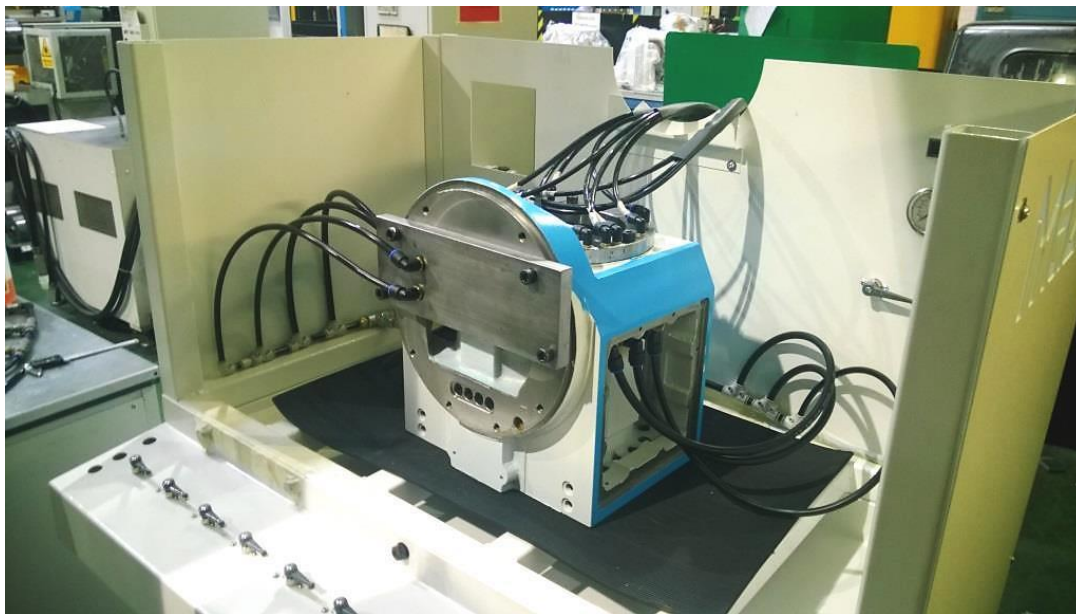


Figur 45 – Riggens bakstycke med inkopplade ventiler och mätare i bildens vänstra halva

Från flödes- och tryckmätaren drogs slangen vidare in till arbetsytan. Där fördelades den ut till de åtta inloppslangarna. Fyra 12 millimeters- och tre 10 millimeters *soft nylon*-slangar samt en kylvätskeslang enligt figur 46, och gavs lagom längd för att enkelt kunna kopplas in i inloppen på spindeldockan som synes i figur 47 nedan.



Figur 46 - Åtta inloppsslangar

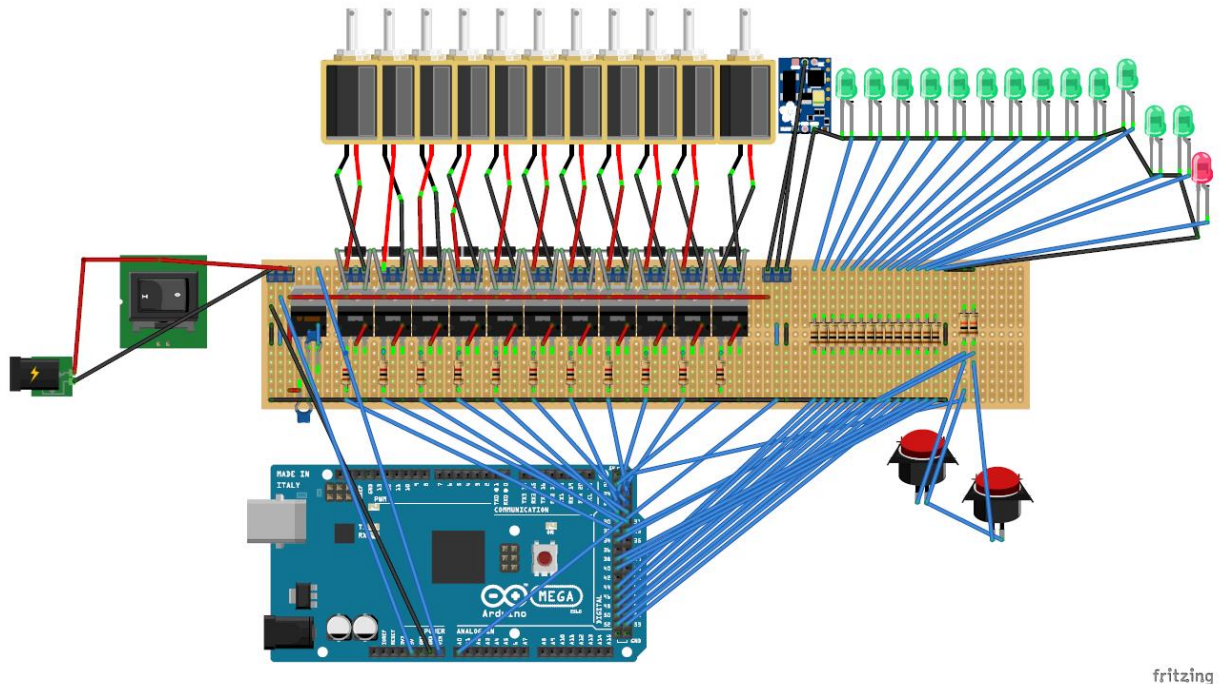


Figur 47 - Komplet inkopplad spindeldocka

När detta gjorts kunde riggens manuella mekaniska system testas. Extern pneumatisk oljepump kopplades till inflödet och systemets utflöde kopplades till pumpens tank, varpå systemet felsöktes efter läckor.

Med en fungerande manuell utrustning kunde fokus förflyttas till implementeringen av elektroniken.

Efter att funktionstester utförts på de individuella elektroniska komponenterna för att säkerställa att de fungerade planenligt (se kapitel 3.2) så påbörjades tillverkning enligt de sammanställningsritningar och schematiska bilder som uppförts (se figur 48 nedan).



Figur 48 – Det elektroniska systemet med samtliga komponenter kopplade

Planer fanns på att ersätta stripboarden med ett etsat kort alternativt att beställa ett färdigt mönsterkort från en tillverkare. Idéerna fick dock agera reservplan då tiden att ta fram de nödvändiga ritningarna var begränsad.

Initialt löddes de elektroniska komponenterna på stripboarden. Vissa finjusteringar utfördes då alla komponenter inte hade tillräckligt med utrymme.



Figur 49 – Tillverkning av kretskort innehållande transistorer, resistorer och en spänningsregulator

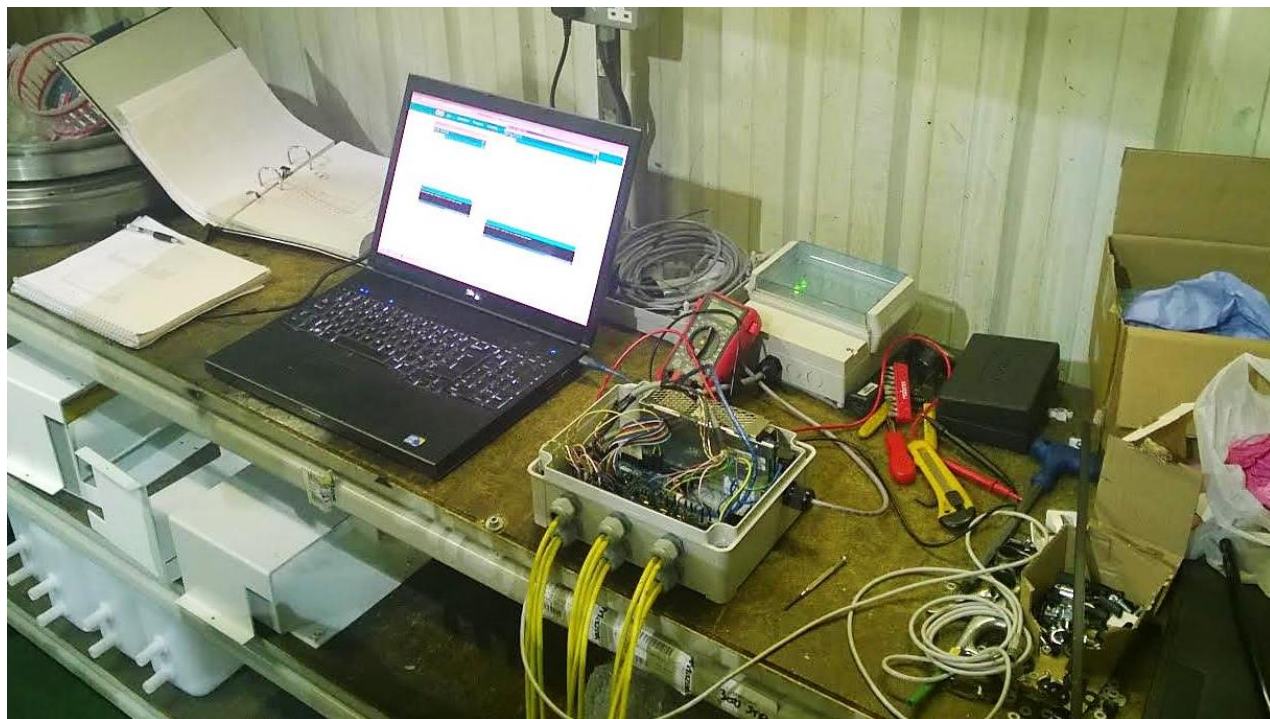
Kretsen granskades därefter noggrant vid flera tillfällen visuellt samt med en multimeter för att säkerställa att inga dåliga lödningar förekom. (se figur 49)

Därefter tillverkades LED-skåpet. En mall skrevs ut och hål borrades i en aluminiumpanel där varje LED skulle sitta. LED-erna monterades på panelen, löddes samman och justerades sedan in i ett IP-klassat elskåp. (se figur 50)



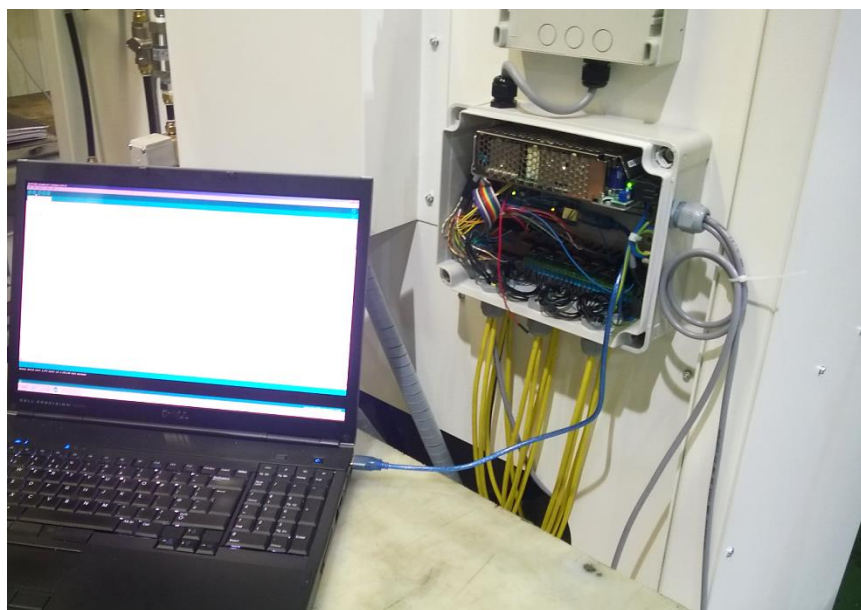
Figur 50 – LED-skåpet

Därefter passades controllerkortet, kretskortet och nätaggregatet in i ett något större IP-klassat elskåp. Komponenterna monterades och kopplades upp till testtriggen. Tester utfördes för att tillförsäkra att komponenterna interagerade planerligt. (se figur 51)



Figur 51 – Funktionstest med alla el-komponenter uppkopplade till riggen

Slutligen monterades elskåpen på testriggen och kontrollerkortet programmerades. (se figur 52)



Figur 52 – Kontrollerkortet programmeras med slutgiltigt program

Figurerna 53-56 nedan visar riggen i sitt färdiga utförande.



Figur 53- Färdig produkt



Figur 54 - Riggens baksida



Figur 55 - Detaljbild på skruvförvaring, verktyg, huvudventil, tryckmätare, flödesmätare, dräneringsventil och tre av åtta inflöden.



Figur 56 - Kontrollpanelens färdiga utförande

7. SLUTSATS

Här utvärderas huruvida resultatet överensstämmer med projektets mål, vad som kunde gjorts annorlunda samt rekommendationer på framtida förbättringar.

7.1 Verifikation av resultatet

Med facit i hand kan det konstateras att de flesta projektmålen helt uppfyllts, många med gott resultat. Några av de mer abstrakta målen, såsom tillförlitlighet, bedöms dock svårare att utvärdera i ett så tidigt stadium. Även om resultaten ser bra ut utifrån de utvärderingarna som gjorts behöver i längden en stor mängd data samlas in från flera fristående tester för att statistiskt bevisa utrustningens tillförlitlighet.

Däremot kan det fastslås att budgeten hållits. £2353 spenderades på inköp av komponenter, ca £1000 på pump och uppskattningsvis £100 på bulkmaterial såsom skruvar och rördelar. Totalt alltså ca £3450 av projektets budget om £5000. De resterande £1550 kan rimligt uppskattas som den ungefärliga tillverkningskostanden för de internt tillverkade delarna. Det bör dock tilläggas att budgeten är motiverad av att testet verkligen fungerar och i framtiden besparar företaget på servicekostnader, varför även detta kan anses som ett mål som kräver längre utvärderingstid.

Riggen bedöms robust ur perspektivet att den har ett manuellt backup-system som kan användas om elektroniken skulle falla. Material och komponenter har valts för att vara beständiga mot verkstadsmiljön och ovarsamt hanterande. Så många som möjligt har valts efter tillgänglighet i fabriken ordinarie lager samt att de är därmed även är välkända bland de anställda. Om pumptrycket skulle ställas in för högt ser en säkerhetsventil till att systemet skyddas mot tryck över 0,8 [MPa], vilket minskar risken för att skada det hydrauliska systemet avsevärt. Även koden till styrkortet har programmerats på ett robust sätt, så att denna enkelt kan korrigeras om en uppdatering skulle behöva göras.

Till skillnad från tidigare testutrustning kan detta testet med hjälp av en SOP²³ genomföras på ett noggrant sätt med låg risk för mänskliga fel. Fokus har flyttats från att hålla ordning på svåröverskådliga slang- och ventilsystem till att faktiskt analysera provresultat. Vid automatisk drift minimeras den mänskliga inblandningen, och därmed risken att utelämna kontroll av kanaler. Operationstiden väntas vara likvärdig som referensutrustningen, dock kräver inte utrustningen full närvaro av operatören under testet vilket väntas medföra en tidseffektivisering.

Slutligen kan det konstateras att en fullt fungerande testtrigg har konstruerats och byggts inom projektets 12 veckors tidsram. I framtiden återstår att statistiskt bevisa riggens reliabilitet samt att, om det skulle visa sig behövt, finjustera styrsystemet.

²³ Standard Operation Procedure - Dokument som beskriver en operations tillvägagångssätt

7.2 Förbättringar

En generell förbättring som föreslås är att företaget skall införskaffa en “gästverktygslåda”. Det uppskattas ha kostat åtskilliga arbetstimmar att leta efter, fråga efter och låna verktyg. En egen verktygslåda hade underlättat och effektiviserat monteringsfasen avsevärt.

Gällande testtriggen i stort så lämnas den över i ett fullt fungerande skick. Det återstår att integrera en ny pump, men i väntan på att detta genomförs har full funktion tillsetts med möjligheten att koppla in en extern pump. Med integrerad pump installerad kommer utrustningen kunna genomföra testet fristående, endast med hjälp av ansluten tryckluft och el. Om någon mer vecka lagts på projektet hade pumpen kunnat implementeras, men då företaget för tillfället genomför en revision av pumpar kommer de i samband med detta även installera en ny i testtriggen.

Om likande testtriggar byggs i framtiden rekommenderas att beställa färdiga kretskort alternativt att etsa ett kort. Processen att löda är tidskrävande och fallgroparna många. Genom att beställa från en specialist säkerställs kvaliteten samt att kretsensutrymme kan minimeras.

En vision för testtriggen för framtiden är att implementera ett automatiskt trycktest. En trycksensor kan förse styrkortet med uppgifter om tryck och tryckfall. Sensorn i sig kostar £175²⁴ och arbetet uppskattas till maximalt en vecka för installation, kodning, inmätning och funktionsfastställande.

Ytterligare vidareutveckling föreslås vara att en servomotor appliceras på pumpen för att justera pumptrycket. Detta skulle medföra ett helt automatiserat test där operatören varken behöver ställa in tryck eller kontrollera tryckfall manuellt. Både den automatiska pumpstyrningen och det automatiska trycktestet väntas tillsammans kunna implementeras på två veckor till en komponentkostnad på maximalt £250²⁵

Flera av företagets befintliga testtriggar har förmågan att logga testresultat och använda dessa för dokumentation. Riggen som utvecklats i projektet läser av resultat och förser operatören med informationen under testets gång. Efter testet sparas inte resultaten, utan operatörens underskrift står som enda bevis för att detaljen är godkänd. Om en dator i framtiden skulle kopplas till utrustningen skulle resultaten kunna loggas och användas som dokumentation.

²⁴ 1953 SEK (citibank.com)

²⁵ 2790 SEK (citibank.com)

Referensintervallet för acceptabelt flöde är satt utifrån empiriska observationer från *en* spindeldocka. Framöver bör flöden från flera spindeldockor utföras och loggas för att få fram fördelningskurvor och därigenom bestämma ett noggrannare referensintervall.

Mindre förbättringar som enkelt kan genomföras:

Gallret kan förses med en krok som kan låsa gallret i vinklad position för att underlätta rengöring.

Någon del av det hydrauliska systemet kan förses med transparent slang för att ge operatören möjlighet att se flödet.

Sammanfattning av förbättringar:

- Gästverktygslåda på företaget
- Integrerad pump
- Beställda kretskort
- Digital trycksensor
- Självjusterande tryck
- Logga resultat
- Referensintervall
- Krok till gallret för att underlätta rengöring
- Transparent slang

KÄLLFÖRTECKNING

Litteratur:

Cengel, Y., Turner, R. och Cimbala, J. (2008) Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences, third edition in SI-units. New York: McGraw-Hill

Hunter, B., Rowland, P. (2003) Linear Regulator Design Guide For LDOs. Application Report, Texas instruments.

<http://www.ti.com/lit/an/slva118a/slva118a.pdf> (2014-06-04)

Jacobson, S. (N/A) Elteknik MI, Chalmers Lindholmen – Institutionen för signaler och system

Otto, K.N. och Wood, K. L. (1996) A Reverse Engineering and Redesign Methodology for Product Evolution, Irvine, Kalifornien

Rapp, P. (2002) Ingenjörens Svarta Bok - Andra Utgåvan, Perth: Pat Rapp Enterprises.

Internetbaserade källor:

Atmel (2014), Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V,

http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf (2014-06-14)

Ledtech (1995), L XX R 5000 H M D1 - 5mm Round Lamp,

<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/007b/0900766b8007bb6d.pdf> (2014-06-14)

Legris Online Catalogue (2014) Double female ball valves for screw fixing: prt. no. 6402 07 13,

<http://www.legris.com/> (2014-06-02)

Matweb Material Property Data (2014) AISI 1008 Steel,

<http://matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=145867c159894de286d4803a0fc0fe0f&ckck=1> (2014-06-04)

Mobil Velocite Oil Numbered Series data sheet. (2014) Typical Properties,

http://www.mobil.com/USA-English/Lubes/PDS/GLXXENINDMOMobil_Velocite_Oil_Numbered.aspx (2014-03-25)

Nave, R. (2012) Hyperphysics, Voltage law,

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/ohmlaw.html#c2> (2014-06-09)

ON Semiconductor (2011) *Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors*,
http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/TIP100-D.PDF (2014-06-10)

SheetMetal.me (2011) Sheet Metal Fabrication Resources, *K-factor*
<http://sheetmetal.me/k-factor/> (2014-06-10)

SMC (2014) *Företagsinformation*,
http://www.smc.eu/portal/WebContent/local/SE/Company/Foeretagsinformation.jsp?tree_options=tree_company.js&tree_state=1&tree_highlighted_node=3100 (2014-05-13)

SMC Digital Catalog (2014) *Series KQ2*,
<http://ca01.smcworld.com/catalog/New-products-en/es50-37-kq2.htm?back=0> (2014-05-13)

SMC Digital Data Sheet (2014) *Series VX21/22/23*,
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1147/0900766b81147ba2.pdf>

Swagelok Web Catalog (2014) *Proportional Relief Valves*,
<http://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/EN/MS-01-141.pdf> (2014-05-13)

Taiwan semiconductor, *TS7800 Series, 3-Terminal Fixed Positive Voltage Regulator*,
http://www.taiwansemi.com/DSfile/TS7800_A07.pdf (2014-06-04)

Muntliga källor, löpande mars-juni 2014:

Andy Haddock (Engineer, Design Department, Mazak UK)

Bruno Polesel (Quality Improvement Manager, Mazak UK)

Lawrence Savage (Engineer, Sheet Metal Department, Mazak UK)

Sven Ekered (Forskningsingenjör Produktionssystem, Produkt och produktionsutveckling, Chalmers Lindholmen)

Trevor Burgess (Engineer, Quality Improvement, Mazak UK)

Bildkällor:

Arduino översikt [Elektronisk bild]

<http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>

BernoullisLawDerivationDiagram [Elektronisk bild]

http://sv.wikipedia.org/wiki/Bernoullis_ekvation

Gate-valve [Elektronisk bild]

http://constructionmanuals.tpub.com/14265/css/14265_123.htm [2014-06-05]

One-touch fittings [Elektronisk bild]

<http://uk.rs-online.com/web/c/pneumatics-hydraulics-power-transmission/pneumatic-adaptors-fittings-couplings/>

PF3W Elschema [Elektronisk bild]

http://ca01.smcworld.com/catalog/BEST-5-6-en/pdf/6-p1039-1065-pf3w_en.pdf#page=1

Pressure relief valve [Elektronisk bild]

<http://www.swagelok.com/products/valves/~media/Corporate%20Images/Products/Valves/relief/reliefcut.ashx?w=150&as=1>

Regulator [Elektronisk bild]

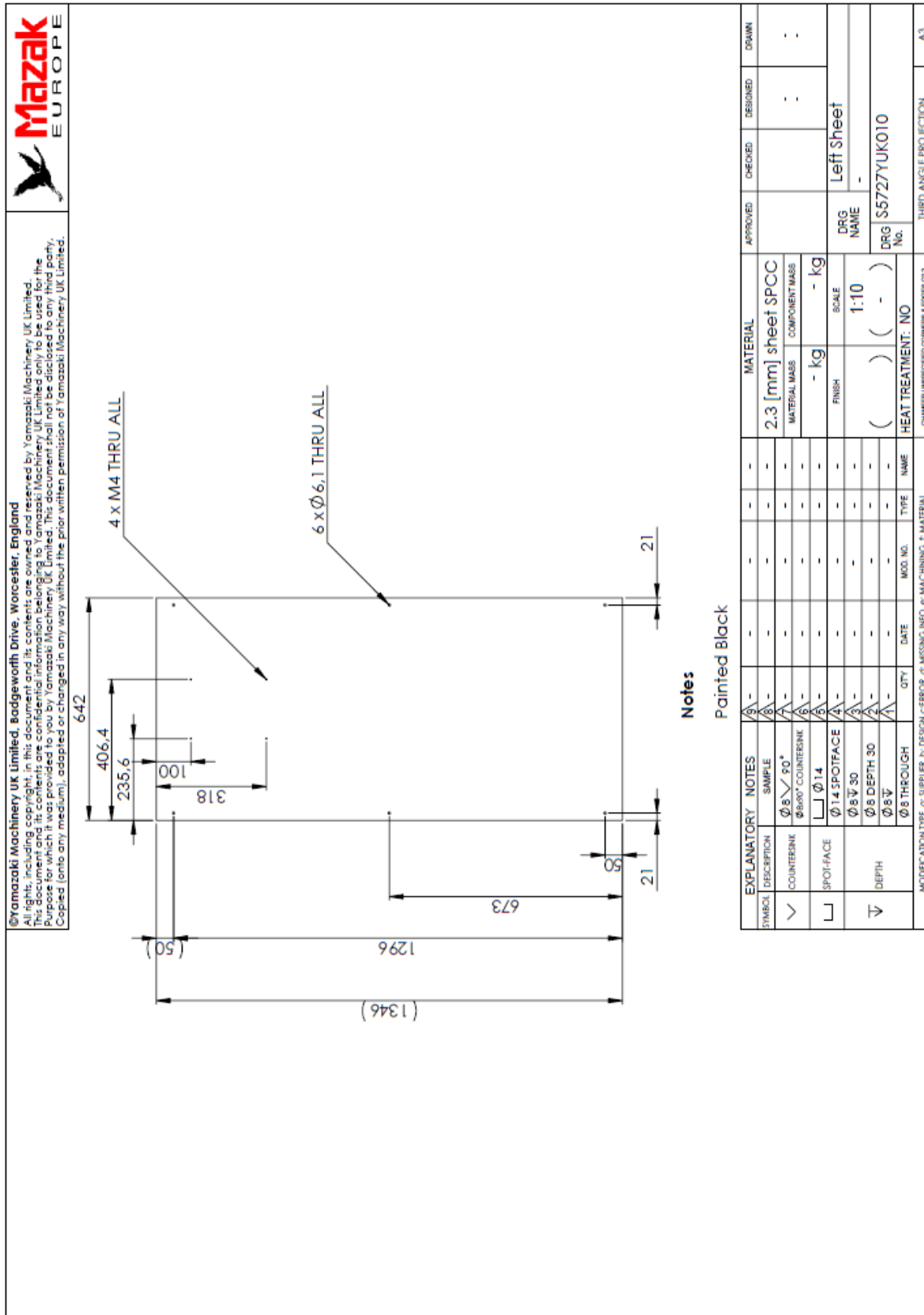
http://www.taiwansemi.com/DSfile/TS7800_A07.pdf

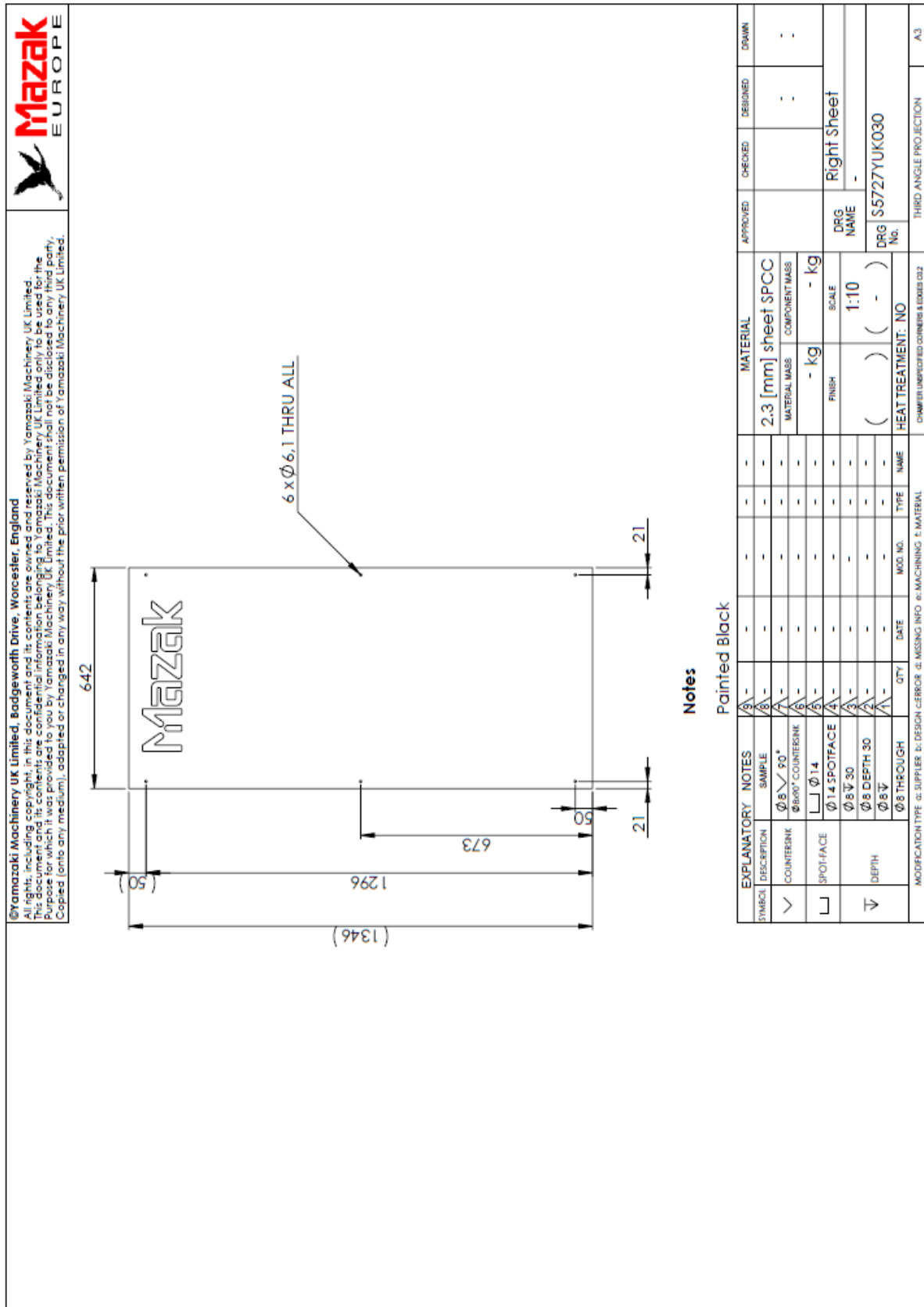
Transistor grafer [Elektronisk bild]

http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/TIP100-D.PDF

VTC800 [Elektronisk bild]

<http://www.mazak.eu/VTC-800-30/SR>





[illegible]

Mazak
EUROPE

©Yamazaki Machinery UK Limited, Badgeworth Drive, Worcester, England
All rights, including copyright, in this document and its contents are owned and reserved by Yamazaki Machinery UK Limited.
This document and its contents are confidential information belonging to Yamazaki Machinery UK Limited and may only be used for the purpose intended. Any reproduction or distribution without the prior written permission of Yamazaki Machinery UK Limited is prohibited (onto any medium), adapted or changed in any way without the prior written permission of Yamazaki Machinery UK Limited.

Technical drawing of a rectangular spillage tray with the following specifications:

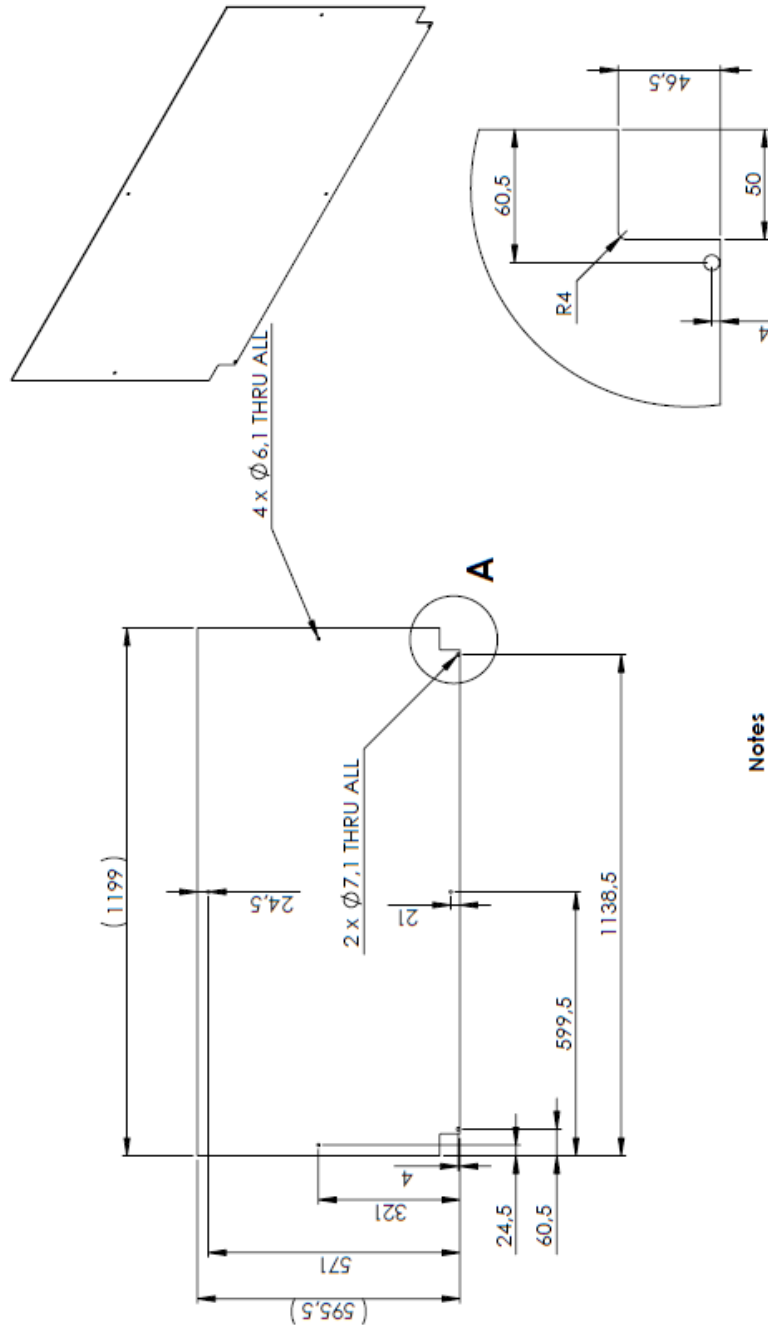
- Overall width: 1293.159
- Overall height: 714.078
- Top flange thickness: 44.5
- Side flange thickness: 44.5
- Bottom flange thickness: 44.5
- Internal width: 1293.159 - 4 * 44.5 = 1175.159
- Internal height: 714.078 - 4 * 44.5 = 532.078
- Labels: DOWN 90° R0.2, UP 92° R0.2, UP 88° R0.2, DOWN 90° R0.2

Notes:

Painted black

SYMBOL	DESCRIPTION	EXPLANATORY NOTES	QTY	DATE	MOD. NO.	TYPE	NAME	HEAT TREATMENT: NO	DRG NAME	APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN
>	COUNTERSINK	SAMPLE	1	-	-	-	-	-	1.6 [mm] sheet				-
>	COUNTERSINK	Ø8 √ 90° Ø8x90° COUNTERSINK	1	-	-	-	-	-	MATERIAL MASS COMPONENT MASS				-
L	SPOTFACE	Ø14	1	-	-	-	-	-	- kg				-
U	DEPTH	Ø14 SPOTFACE Ø8 √ 30 Ø8 DEPTH 30 Ø8 √	1	-	-	-	-	-	SCALE 1:10				-
U	THROUGH	Ø8 THROUGH	1	-	-	-	-	-	() (-)				-
									Spillage Tray				-
									No.				-
									S5727YUK050				-
									HEAT TREATMENT: NO				-
									CHARACTER UNFINISHED CORNERS & EDGES Q12				-
									HARD ANGLE PROJECTION				-
									A3				-

©Yamazaki Machinery UK Limited, Badgeworth Drive, Worcester, England



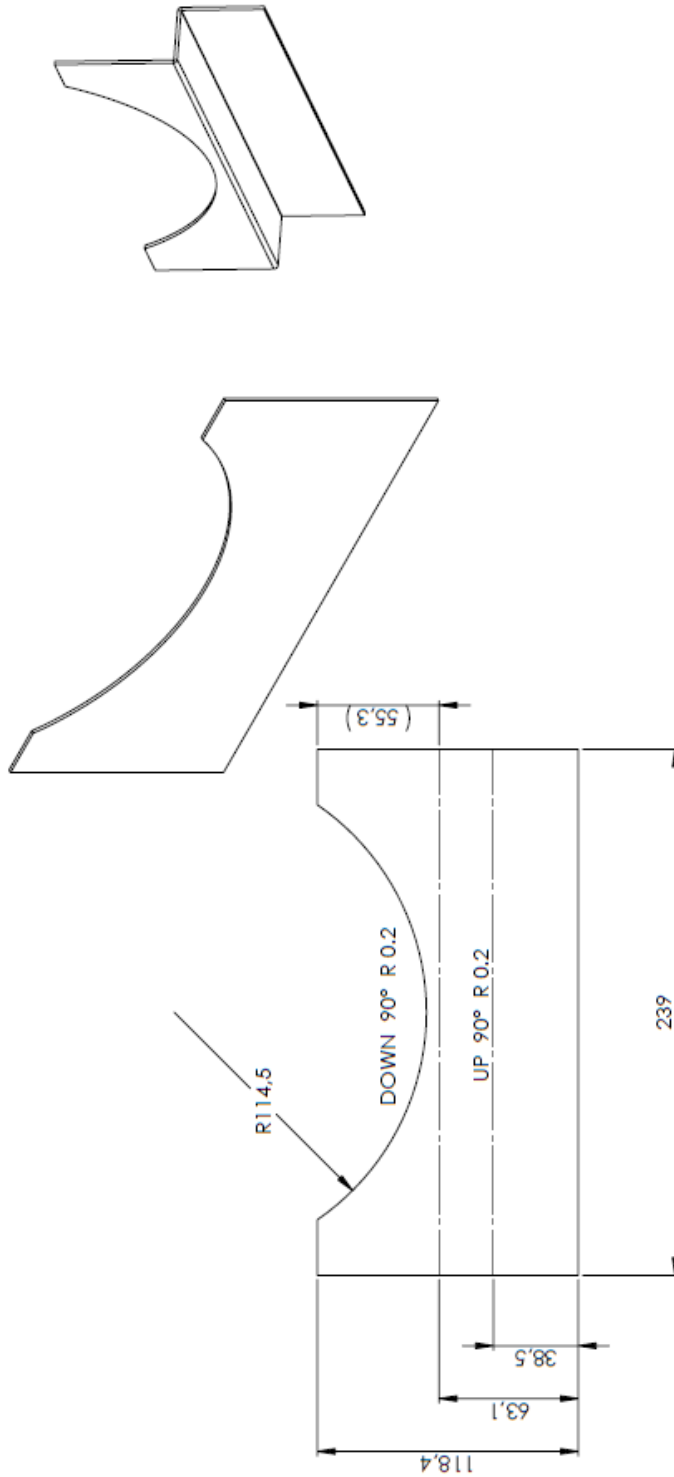
Notes

Painted Black

A (1:2)

EXPLANATORY NOTES		QTY	DATE	MOD. NO.	TYPE	NAME	MATERIAL				APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN			
SYMBOL	DESCRIPTION						2.3 [mm] sheet spCC										
V	SAMPLE	3	-	-	-	-	- kg				- kg	DRG NAME	Spillage Tray				
	COUNTERSINK	3	-	-	-	-									MATERIAL MASS	COMPONENT MASS	
L	SPOTFACE	3	-	-	-	-	FINISH				SCALE	1:10					
	SPOTFACE	3	-	-	-	-									MATERIAL MASS	COMPONENT MASS	
▽	DEPTH	3	-	-	-	-	() (-)				DRG No.	S527YUK060					
	DEPTH	3	-	-	-	-									MATERIAL MASS	COMPONENT MASS	
HEAT TREATMENT: NO																	
MODIFICATION TYPE 3: SUPPLIER 5: DESIGN 6: ERROR 8: MISSING INFO 9: MACHINING 1: MATERIAL															THIRD ANGLE PROJECTION		A3

©Yamazaki Machinery UK limited, Bodgeworth Drive, Worcester, England



Notes

Painted Black

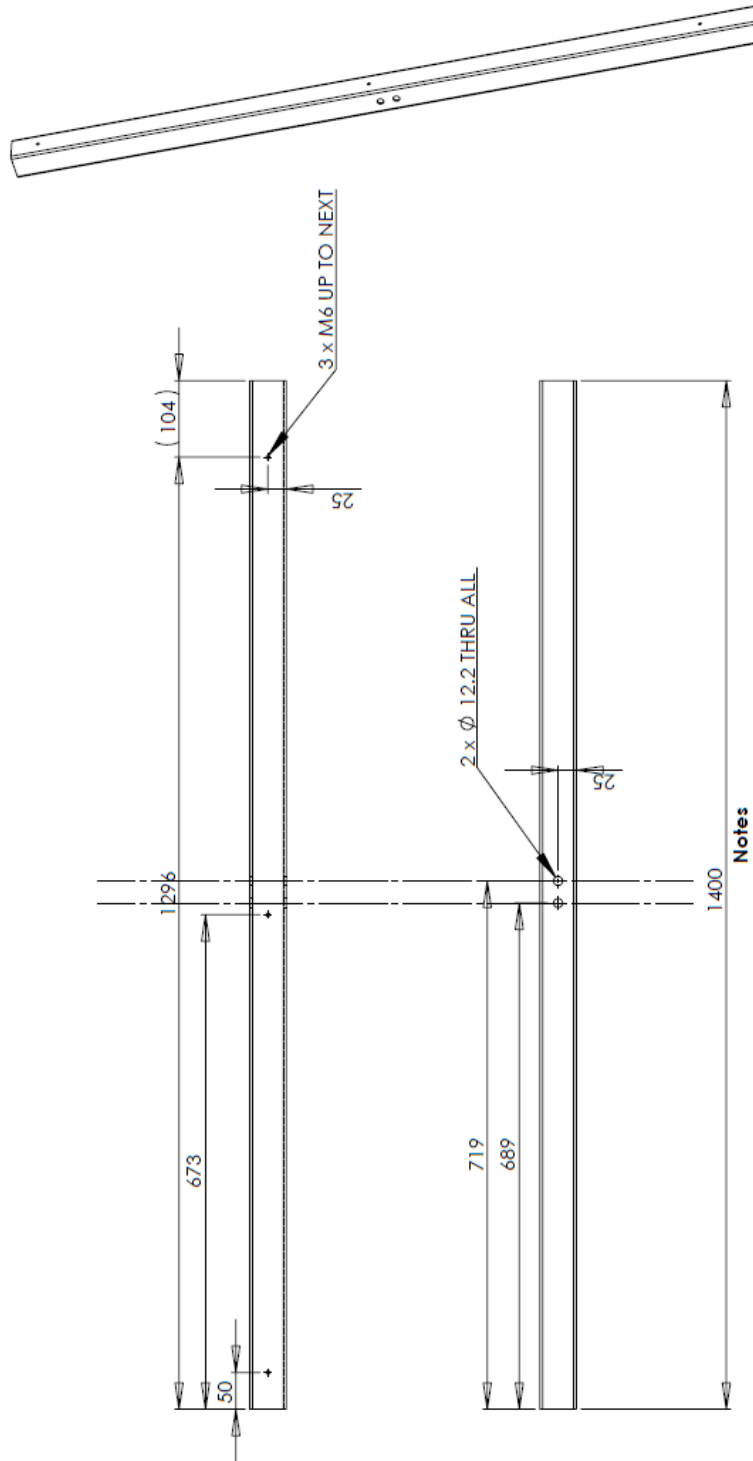
EXPLANATORY NOTES		-	-	-	-	MATERIAL	APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN
SWAGelok DESCRIPTION	SAMPLE	-	-	-	-	1.6 [mm] sheet				
✓ COUNTERBANK	Ø8 √ 90° Ø8x90° COUNTERBANK	-	-	-	-	MATERIAL MASS COMPONENT MASS			-	-
□ SPOTFACE	□ □ Ø14	-	-	-	-	- kg - kg				
▽ DEPTH	▽ Ø14 SPOTFACE Ø8 √ 30 Ø8 DEPTH 30 Ø8 √	-	-	-	-	FINISH SCALE 1:2	DRG NAME	Ring Holder		
	Ø8 THROUGH	-	-	-	-	() ()	No.	\$5727YUK080		
HEAT TREATMENT: NO										
MODIFICATION TYPE 3: SUPPLIER 5: DESIGN 6: ERROR 8: MISSING INFO 9: MACHINING 1: MATERIAL							THIRD ANGLE PROJECTION			
CHAMFER UNFILLETTED CORNERS & EDGES D12							A3			

Technical drawing of a rectangular plate with a central circular hole. The plate has overall dimensions of 50x50 units. The hole has a diameter of 14 units. The plate has rounded corners with a radius of R4. A dimension line indicates the hole is positioned 14 units from the top and bottom edges. A note specifies the hole is for an M12 T-nut. A 3D perspective view of the plate is shown in the bottom right corner.

EXPLANATORY		NOTES	QTY	DATE	MOD. NO.	TYPE	NAME	MATERIAL				APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN
SYMBOL	DESCRIPTION	SAMPLE						2.3 [mm] sheet, SPOC							
✓	COUNTERSINK	Ø 8 √ 90°	1	-	-	-	-	MATERIAL MASS	COMPONENT MASS	- kg	- kg			-	-
		Ø 8 √ 90° COUNTERSINK	1	-	-	-	-								
□	SPOT-FACE	□ 14	1	-	-	-	-	FINISH	SCALE						
		□ 14 SPOT-FACE	1	-	-	-	-		2:1						
▽	DEPTH	Ø 8 ∇ 30	1	-	-	-	-								
		Ø 8 DEPTH 30	1	-	-	-	-								
		Ø 8 ∇	1	-	-	-	-								
		Ø 8 THROUGH	1	-	-	-	-								
MODIFICATION TYPE a: SUPPLIER b: DESIGN c: ERROR d: MISSING INFO e: MACHINING f: MATERIAL								HEAT TREATMENT: NO				DRG NAME			
												Plate with Nut			
												-			
												DRG No.			
												S5727YUK090			
												THIRD ANGLE PROJECTION			
												A3			

[illegible]

©Yamazaki Machinery UK Limited, Badgeworth Drive, Worcester, England

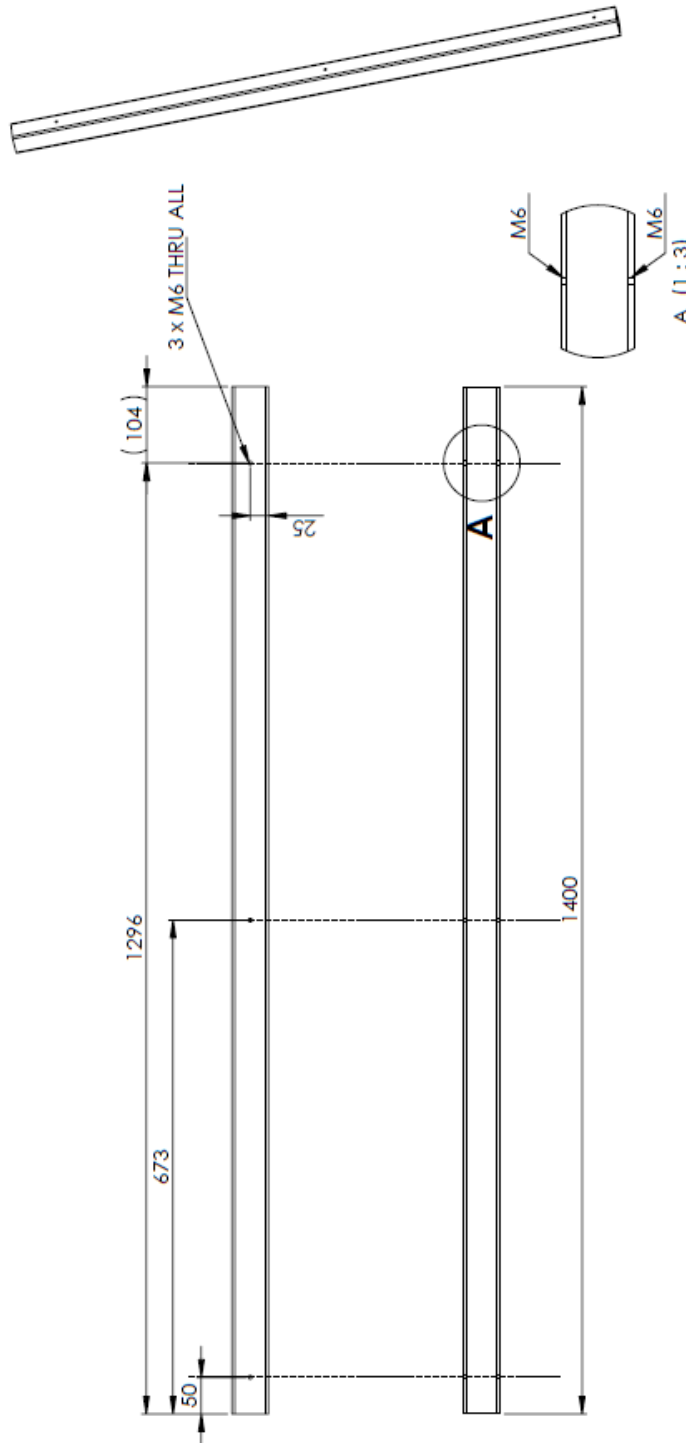


Notes

Drill size for M6 = 5 [mm]

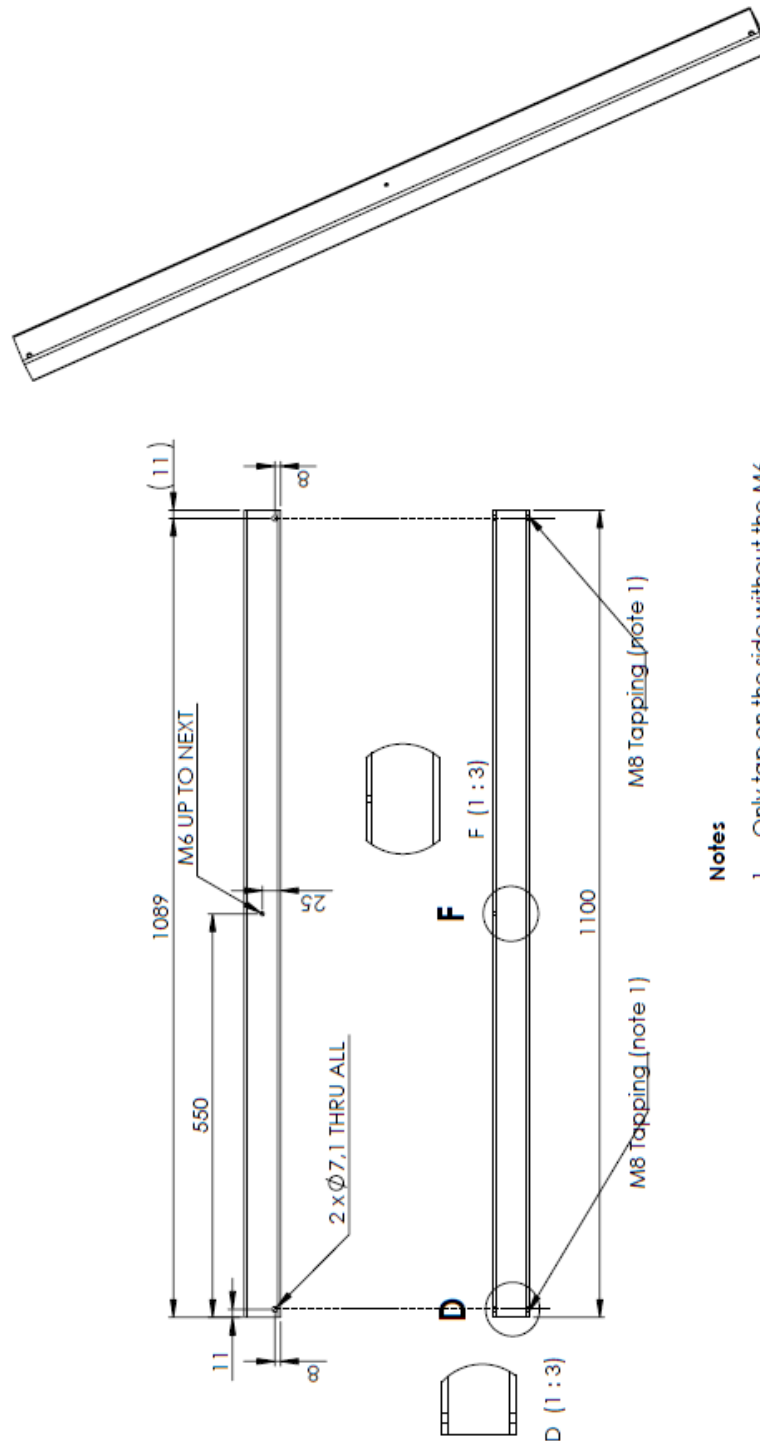
[illegible]

©Yamazaki Machinery UK Limited, Badgeworth Drive, Worcester, England



SYMBOL	EXPLANATORY NOTES		QTY	DATE	MOD. NO.	TYPE	NAME	MATERIAL				APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN			
	DESCRIPTION	SAMPLE						50x50 Box Section		MATERIAL MASS	COMPONENT MASS					FINISH	SCALE	DRG NAME
∇	COUNTERSINK	Φ8.3 √ 90° Φ8.60° COUNTERSINK	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
┐	SPOTFACE	┐ Φ14 Φ14 SPOTFACE	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
▽	DEPTH	Φ5 √ 30	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		Φ5 DEPTH 30 Φ8 √	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Φ5 THROUGH								HEAT TREATMENT: NO				DRG No. S5727YUK102						
MODIFICATION TYPE: 01: SUPPLIER 02: DESIGN 03: ERROR 04: MISSING INFO 05: MACHINING 06: MATERIAL																THIRD ANGLE PROJECTION		A3

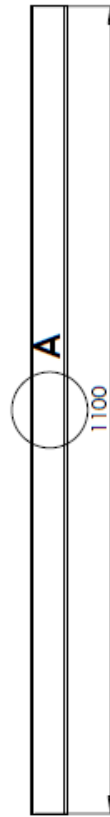
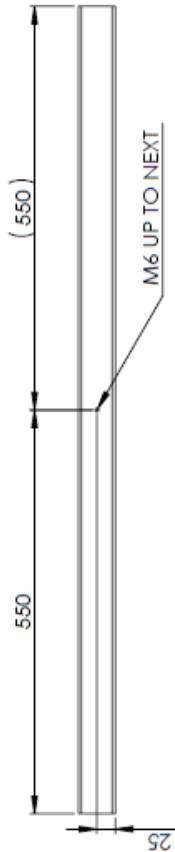
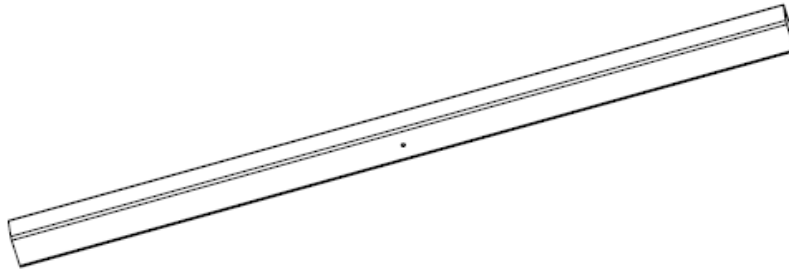
©Yamazaki Machinery UK Limited, Badgeworth Drive, Worcester, England
All rights, including copyright, in this document and its contents are owned and reserved by Yamazaki Machinery UK Limited.
This document and its contents are confidential information belonging to Yamazaki Machinery UK Limited only to be used for the
purpose for which it was provided to you by Yamazaki Machinery UK Limited. This document shall not be disclosed to any third party,
Copied (onto any medium), adapted or otherwise used in any way without the prior written permission of Yamazaki Machinery UK Limited.



1. Only tap on the side without the M6. The $\phi 7.1$ for M8 is intended

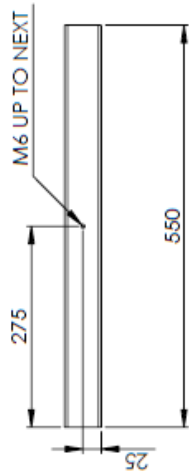
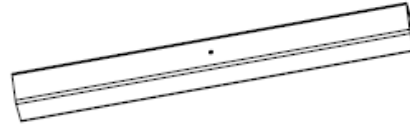
EXPLANATORY NOTES		QTY	DATE	MOD. NO.	TYPE	NAME	MATERIAL				APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN
SYMBOL	DESCRIPTION	SAMPLE	-	-	-	-	50x50 Box Section							
V	COUNTERK	Ø8 √ 90°	-	-	-	-	MATERIAL MASS		COMPONENT MASS				-	-
		Ø8x90° COUNTERK	-	-	-	-	- kg		- kg				-	-
┐	SPOTFACE	┐┐ Ø14	-	-	-	-	FINISH		SCALE					
		Ø14 SPOTFACE	-	-	-	-			1:6				50x50 Box Section	
∇	DEPTH	Ø3 √ 30	-	-	-	-							1100H FIF2	
		Ø8 DEPTH 30	-	-	-	-								
		Ø5 √	-	-	-	-								
Ø3 THROUGH		-	-	-	-	-							DRG No.	
													S5727YUK103	
MODIFICATION TYPE: A: SUPPLIER B: DESIGN C: ERROR D: MISSING INFO. E: MACHINING F: MATERIAL							HEAT TREATMENT: NO							
													THIRD AN: PROJECTION	A3

©Yamazaki Machinery UK limited, Bodgegworth Drive, Worcester, England
All rights, including copyright, in this document and its contents are owned and reserved by Yamazaki Machinery UK Limited.
This document and its contents are confidential information belonging to Yamazaki Machinery UK Limited only to be used for the purpose for which it was provided to you by Yamazaki Machinery UK Limited. This document shall not be disclosed to any third party.
Copies (onto any medium) are adapted or changed in any way without the prior written permission of Yamazaki Machinery UK Limited.



A (1:3)

EXPLANATORY NOTES		QTY		DATE	MOD. NO.	TYPE	NAME	MATERIAL				APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN			
✓	SYMBOL DESCRIPTION	9	-	-	-	-	-	50x50 Box Section						-	-			
	SAMPLE	8	-	-	-	-	-											
✓	COUNTERSINK	6	-	-	-	-	-	MATERIAL MASS						-	-			
	Ø8 √ 90° Ø8x90° COUNTERSINK	6	-	-	-	-	-	COMPONENT MASS										
┐	SPOTFACE	6	-	-	-	-	-	FINISH										
	┐	6	-	-	-	-	-	SCALE										
∇	DEPTH	2	-	-	-	-	-	1:6				DRG No.	55727YUK104					
	∇	2	-	-	-	-	-	() (-)										
	∇	2	-	-	-	-	-											
	∇	2	-	-	-	-	-											
QTY THROUGH		1	-	-	-	-	-	HEAT TREATMENT: NO										
QTY THROUGH		1	-	-	-	-	-											
MODIFICATION TYPE: 1- SUPPLIER 2- DESIGN 3- ERROR 4- MISSING INFO 5- MACHINING 6- MATERIAL CHAPTER UNPUBLISHED COMMENTS & ISSUES 012																THIRD ANGLE PROJECTION		A3



A (1:3)



EXPLANATORY NOTES		QTY	DATE	MOD. NO.	TYPE	NAME	MATERIAL				APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN			
SYMBOL	DESCRIPTION	QTY	-	-	-	-	50x50 Box Section										
V	SAMPLE	3	-	-	-	-											
	COUNTERBANK	1	-	-	-	-	COMPONENT MASS										
	Ø80° COUNTERBANK	1	-	-	-	-	MATERIAL MASS										
L	SPOT FACE	5	-	-	-	-	- kg										
		14	-	-	-	-	SCALE										
	Ø14 SPOTFACE	4	-	-	-	-	FINISH				DRG NAME	50x50 Box Section					
	Ø8√ 30	4	-	-	-	-	1:6					550H F181					
∇	DEPTH	3	-	-	-	-	() (-)				DRG No.	S5727YUK105					
	Ø8 DEPTH 30	2	-	-	-	-											
	Ø8√	1	-	-	-	-											
	Ø8 THROUGH	1	-	-	-	-											
HEAT TREATMENT: NO																	
MODIFICATION TYPE: 0: SUPPLIER 1: DESIGN 2: ERROR 3: MISSING INFO 4: MACHINING 5: MATERIAL														THIRD ANGLE PROJECTION			A3
CHAMFER UNIFORMED CORNERS & EDGES 0.2																	

Yamazaki Machinery UK Limited, Badgeworth Drive, Worcester, England

All rights, including copyright, in this document and its contents are owned and reserved by Yamazaki Machinery UK Limited. This document and its contents are confidential information belonging to Yamazaki Machinery UK Limited only to be used for the purpose for which it was provided and not to be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior written permission of Yamazaki Machinery UK Limited. Copied (onto any medium), adapted or changed in any way without the prior written permission of Yamazaki Machinery UK Limited.

500

300

100

25

M6 UP TO NEXT

A (1:3)

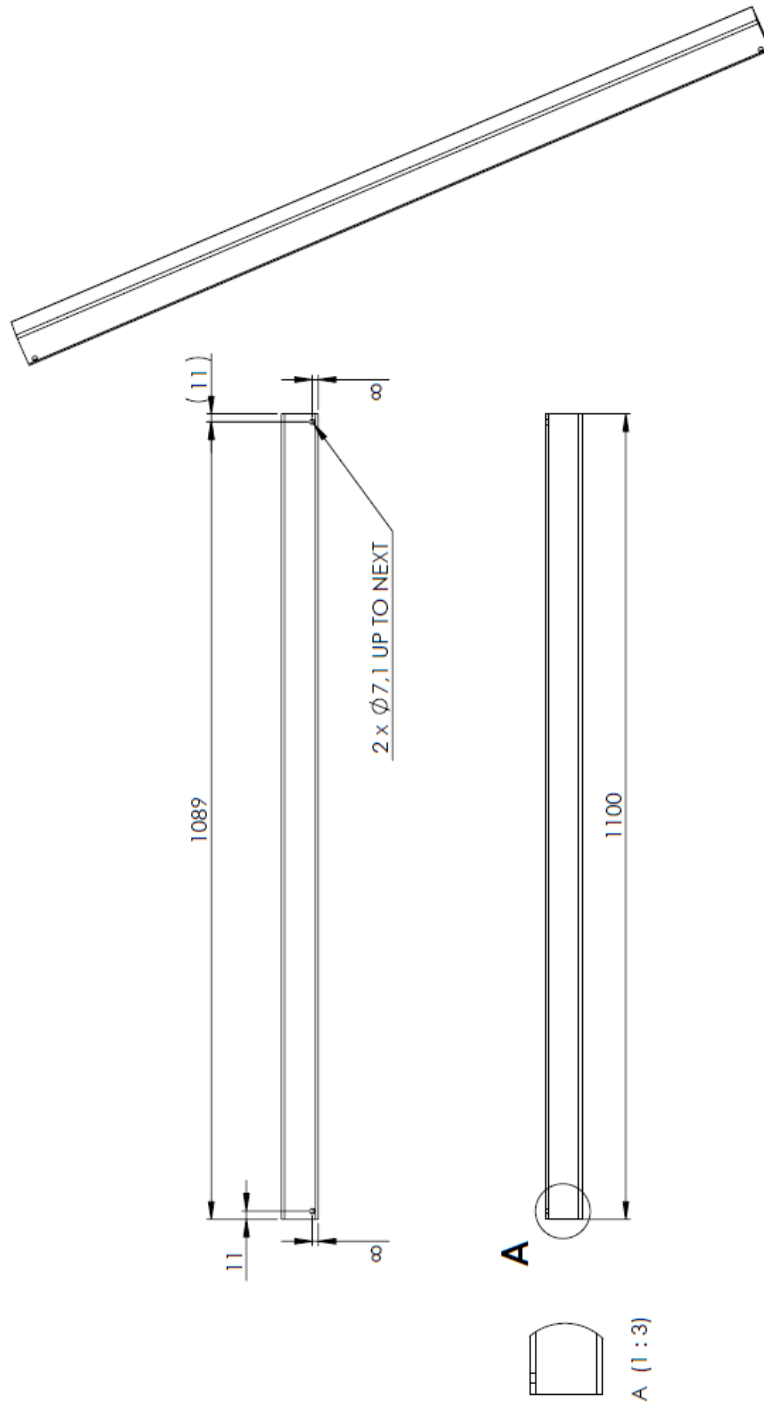
550

EXPLANATORY	NOTES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
SYMBOL	DESCRIPTION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
✓	COUNTERSINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77																							

Technical drawing of a 50x50 Box Section. The drawing shows a side view of the box section with a width of 500. A detail view shows the internal structure with a 90-degree corner. The drawing is labeled '50x50 Box Section' and '500'.

©Yamazaki Machinery UK Limited, Badgeworth Drive, Worcester, England

All rights, including copyright, in this document and its contents are owned and reserved by Yamazaki Machinery UK Limited. This document and its contents are confidential information belonging to Yamazaki Machinery UK Limited only to be used for the purpose for which it was provided to you by Yamazaki Machinery UK Limited. This document shall not be disclosed to any third party. Copied (onto any medium), adapted or changed in any way without the prior written permission of Yamazaki Machinery UK Limited.



EXPLANATORY NOTES		a	-	-	-	MATERIAL			APPROVED	CHECKED	DESIGNED	DRAWN		
SYMBOL	DESCRIPTION	8	-	-	-	50x50 Box Section								
✓	COUNTERSINK Ø8xØ7 COUNTERSINK	7	-	-	-	MATERIAL MASS		COMPONENT MASS			-	-		
		6	-	-	-	- kg		- kg						
□	SPOT-FAÇE	5	-	-	-	FINISH		SCALE	DRG					
	Ø14 SPOTFACE	4	-	-	-			1:6	NAME	50x50 Box Section				
	Ø8 Ø30	3	-	-	-					1100 HM FIF2				
	Ø8 DEPTH 30	2	-	-	-									
∇	DEPTH	1	-	-	-				DRG	S5727YUK110				
	Ø8 THROUGH	1	-	-	-				No.					
HEAT TREATMENT: NO														
MODIFICATION TYPE a: SUPPLIER b: DESIGN c: ERROR d: MISSING INFO e: MANUFACTURING MATERIAL												THIRD ANGLE PROJECTION		A3

CAPITAL SPEND REQUEST

Investment: VTC 800 Headstock Test Rig

Proposer:

PAUL DALLARD
Johan FlinkDate: 22/04/2014

Authorisation:

Departmental Manager:

Department Director(s):

Finance Director:

Deputy European MD:

European MD:

[Signature]
[Signature]
[Signature]
[Signature]22/4/2014
24/4/1425/4/14
24.04.2014
25/4/2014

Purpose of Investment:

Eliminate the risk that faulty VTC800-Headstocks
goes onto the machines and in worst case
out to the customers.

Benefits of Investment:

ROI: 800% per year or 40 days.
"Good will" and satisfied customers.

Amount Requested:

£5,000

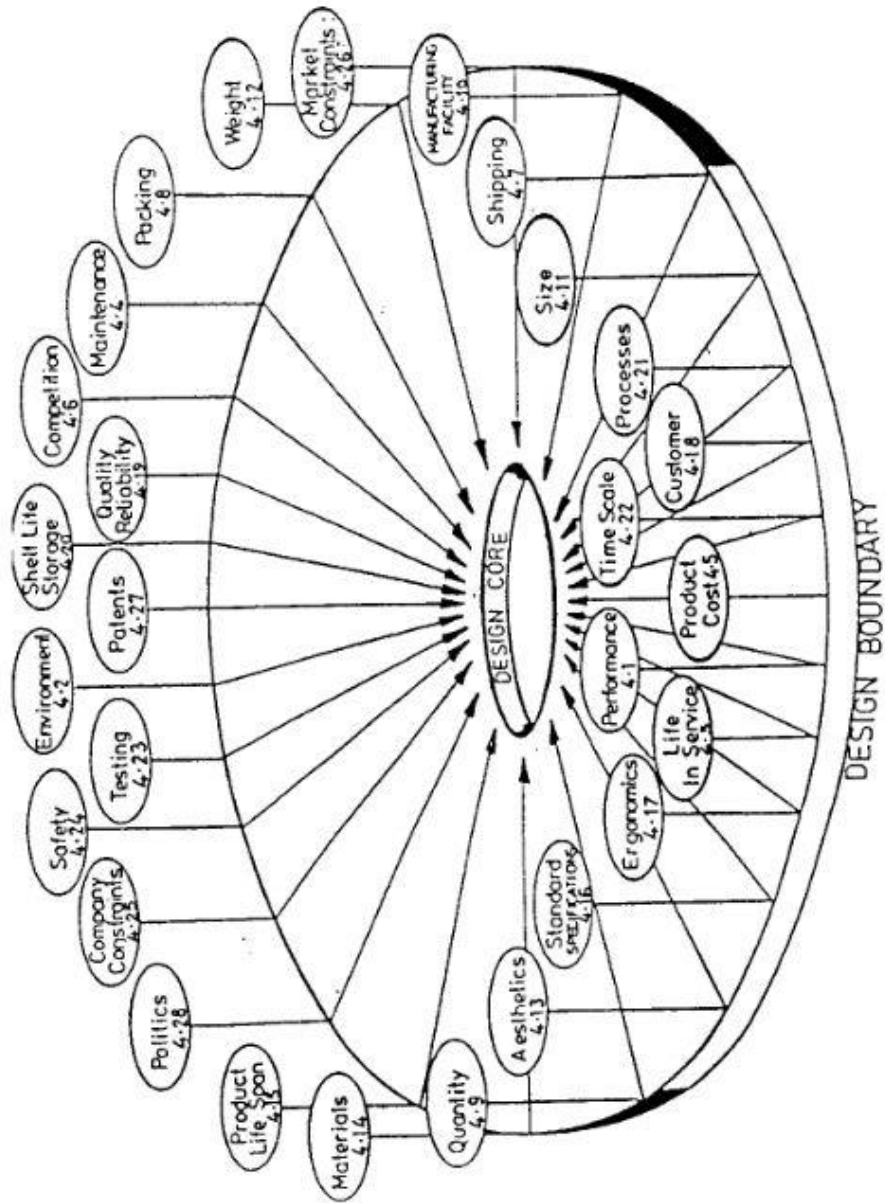
Budget:

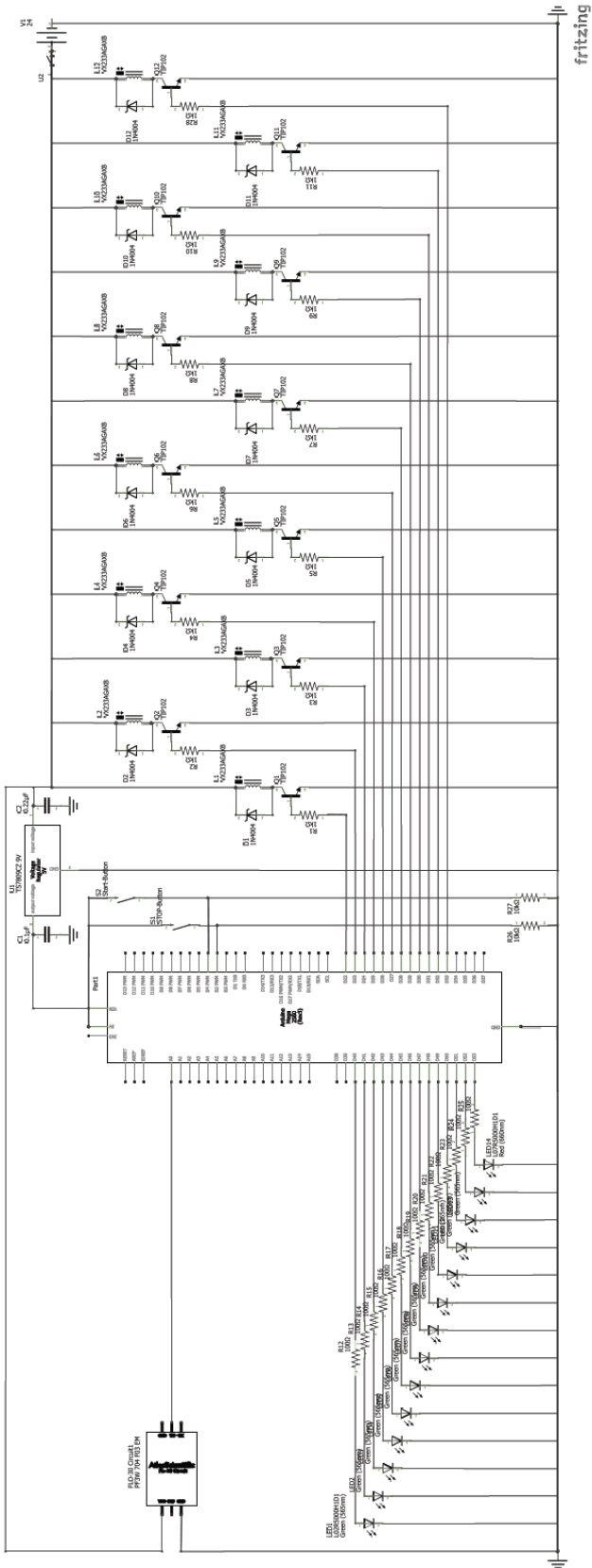
Attachments:

See attachments for rig information and usage,
current expenditures/ failures and rig-cost calculations.

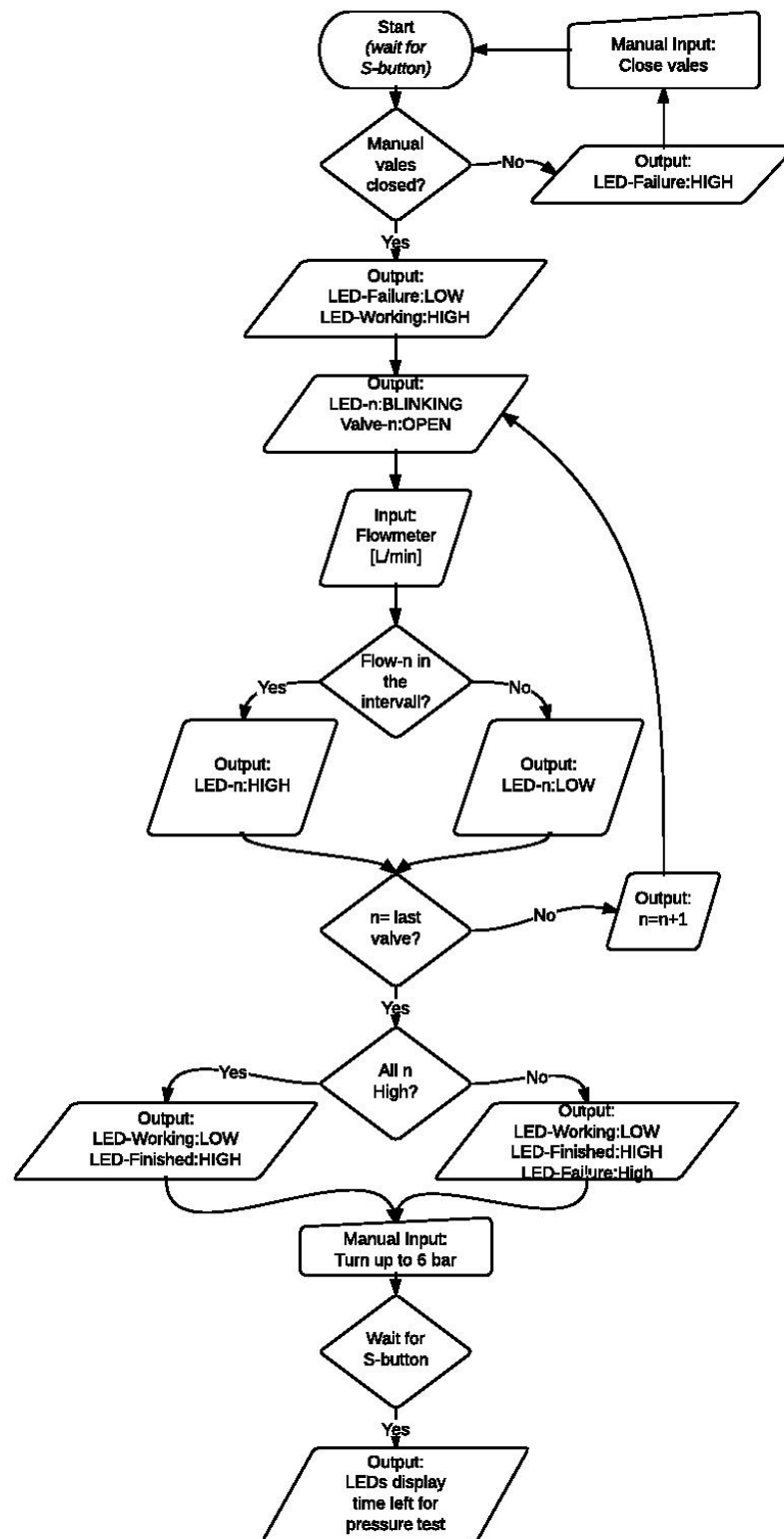
Pugh's ballonger

”En checklista för väsentliga krav”









```
//All flows are in cubiccentimeters, cm^3, 100 [cm^3] = 1 [dm^3] = 1 Liter
```

```
//Global variables
```

```
//Solenoidvalve Pins, Make sure these are connected in a series.
```

```
int solenoidMin = 22; //First solenoid(transistor) PIN
```

```
int solenoidMax = 32; //Last solenoid(transistor) PIN
```

```
int mainSolenoid = 33; //Main solenoid valve
```

```
//LED Pins, Make sure these are connected in an series.
```

```
int ledMin = 40; //First LED PIN
```

```
int ledMax = 53; //Last LED PIN
```

```
int workingLed = 51;
```

```
int startReadyLed = 52;
```

```
int stopFailedLed = 53; //Red LED
```

```
//Buttons
```

```
int startButton = 0;
```

```
int startButtonPin = 4;
```

```
int stopButton = 0;
```

```
int stopButtonPin = 2;
```

```
//Max and Min flow interval for the headstock drillings in cm^3
```

```
//If you want to change upper or lower limit change these
```

```
int intervalMin = 150;
```

```
int intervalMax = 300;
```

```
//Misc variables
```

```
float Average = 0;
```

```
float Totalflow = 0;
```

```
int onoff[12];
```

```
//ISR (function) that is executed when stopbutton is pressed. (should be short)
```

```
void stopButtonPressedISR()
```

```
{
```

```
    stopButton = 1;
```

```
}
```

```
//Function that controlls if the stopbutton been pressed. If pressed it closes all the soleniodvalves and waits for the startbutton
```

```
void stopStartButtonWait()
```

```
{
```

```
    if (stopButton == 1)
```

```
    {
```

```
digitalWrite(startReadyLed, HIGH);

int i;

//Controll which solenoids is currently in use. Saves the data and close those that were open
for (i = 0; i <= 11; i = i + 1)
{
  onoff[i] = digitalRead(solenoidMin+i);
  if (onoff[i] == 1)
  {
    digitalWrite(solenoidMin + i, LOW);
  }
}

//Waits for the startbutton to be pressed
while(startButton == 0)
{
  startButton = digitalRead(startButtonPin);
  delay(1);
}

//Open the solenoidvalves that were previously closed and the process continues were it were
stopped.
int z;
for (z = 0; z <= 11; z = z + 1)
{
  if (onoff[z] == 1)
  {
    digitalWrite(solenoidMin + z, HIGH);
  }
}

digitalWrite(startReadyLed, LOW);
stopButton = 0;
startButton = 0;
}
}

//Function that waits for the startbutton
void startButtonWait()
{

  digitalWrite(startReadyLed, HIGH);

  while(startButton == 0)
  {
```

```
startButton = digitalRead(startButtonPin);
delay(1);
}
digitalWrite(startReadyLed, LOW);
stopButton = 0;
startButton = 0;
}

//Reads the flow from the 10bit analog PIN and converts the value to Liters per minute
int flow()
{
    int bitFlow = analogRead(A0);
    float flow1 = (((float)bitFlow*((float)5/(float)1023))-1)*100;

    Serial.println(flow1);

    return flow1;
}

//Reads the flow average
float flowAverage(int x, int z)
{
    if (z==1)
    {
        Totalflow = 0;
        Average = 0;
    }
    Totalflow = Totalflow + (float)x;
    Average = (float)Totalflow/(float)z;

    Serial.println(Average);
    return Average;
}

//Checks if all the manual valves are closed
int manualValvesClosed()
{
    digitalWrite(mainSolenoid, HIGH);

    //forloop works as delay with LED blinking. delay = n*2*delay[ms] = 40*(200+200)= 16000 [ms]
    for(int n = 0; n<=40; n = n + 1)
    {
        digitalWrite(workingLed, HIGH);
        delay(200);
        digitalWrite(workingLed, LOW);
    }
}
```



```
    delay(200);
}

int f = flow();

if (f<=10) //if the flow is less than 0.1 L per min the function return 1
{
    return 1;
}
else
{
    return 0; //if the flow is greater then 0.1 L per min the function return 0
}
digitalWrite(mainSolenoid, LOW);
}

//Lighting up all LEDs, one at the time
void panelLedTest()
{
    for(int n = ledMin; n <= ledMax; n = n + 1)
    {
        digitalWrite(n, HIGH);
        delay(50);
        digitalWrite(n, LOW);
        delay(5);
    }
}

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:

    Serial.begin(9600); //Enables serial-communication through USB with computer

    //Only pin 2 and 5 are used below. Rest are configured incase a faulty connection is made
    pinMode(1, INPUT);
    digitalWrite(1, HIGH);

    attachInterrupt(0, stopButtonPressedISR, RISING); //Enables the sequencial code to be stopped, (Pin,
    interrupt service routine (function), mode (when to execute)), MEGA: 0-2,1-3,2-21,3-20,4-19,5-18
```

```
pinMode(2, INPUT);  
digitalWrite(2, HIGH);
```

```
pinMode(3, INPUT);  
digitalWrite(3, HIGH);
```

```
pinMode(4, INPUT);  
digitalWrite(4, HIGH);
```

```
pinMode(5, INPUT);  
digitalWrite(5, HIGH);
```

```
//Define used digital pins as outputs  
for(int i=solenoidMin; i<=solenoidMax; i=i+1)  
{  
  pinMode(i, OUTPUT);  
}  
for(int i=ledMin; i<=ledMax; i=i+1)  
{  
  pinMode(i, OUTPUT);  
}  
pinMode(mainSolenoid, OUTPUT);  
}
```

```
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:
```

```
  //LED signal when the rig turns on  
  panelLedTest();
```

```
  stopStartButtonWait(); //This function is used throughout the program to check if the stop button been  
  pressed
```

```
  //Waitings for start button press  
  startButtonWait();
```

```
  //checking if the manual valves are closed
```

```
  int k = manualValvesClosed();  
  stopStartButtonWait();  
  while(k == 0)  
  {  
    digitalWrite(stopFailLed, HIGH);  
    startButtonWait();  
    k = manualValvesClosed();  
    if(k == 1)  
    {  
      digitalWrite(stopFailLed, LOW);
```

```
}  
}
```

```
//Testing the drillings one at a time, solenoid 1-11
```

```
int led = ledMin;
```

```
int favg = 0;
```

```
for(int n = solenoidMin; n <= solenoidMax; n = n + 1)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(mainSolenoid, HIGH); //Open main solenoidvalve
```

```
    digitalWrite(n, HIGH); //Open the chosen solenoid to test one of the drillings
```

```
    digitalWrite(workingLed, HIGH); //Lights up the working LED
```

```
    //Waiting for steady flow, delay = 15*(200+200) = 6000 mS
```

```
    for(int z = 1; z<=15; z=z+1)
```

```
    {
```

```
        digitalWrite(led, HIGH);
```

```
        stopStartButtonWait();
```

```
        delay(200);
```

```
        digitalWrite(led, LOW);
```

```
        stopStartButtonWait();
```

```
        delay(200);
```

```
    }
```

```
    //Testing the drilling for 60*400 ms = 24 s. If the average flow is inbetween the set intervall it will pass  
the test
```

```
    //and a green diode will light up
```

```
    for(int z = 1; z<=150; z = z + 1)
```

```
    {
```

```
        digitalWrite(led, HIGH);
```

```
        int f = flow();
```

```
        favg = flowAverage(f,z);
```

```
        stopStartButtonWait();
```

```
        delay(200);
```

```
        digitalWrite(led, LOW);
```

```
        stopStartButtonWait();
```

```
        delay(200);
```

```
    }
```

```
    if (favg >= intervalMin && favg <= intervalMax)
```

```
    {
```

```
        digitalWrite(led, HIGH);
```

```
    }
```

```
    else
```

```
    {
```

```
        digitalWrite(led, LOW);
```

```
    digitalWrite(stopFailLed, HIGH);
}
led = led + 1;
digitalWrite(n, LOW); //Closes the chosen solenoid

}

//digitalWrite(mainSolenoid, LOW);
digitalWrite(workingLed, LOW);
digitalWrite(startReadyLed, HIGH);

//Turnoff all the lights after startbutton press
startButtonWait();
for(int n = ledMin; n <= ledMax; n=n+1)
{
    digitalWrite(n,LOW);
    delay(1);
    stopStartButtonWait();
}

startButtonWait();

//Pressure test follows

//checking if the manual valves are closed
k = manualValvesClosed();
while(k == 0)
{
    digitalWrite(stopFailLed, HIGH);
    startButtonWait();
    k = manualValvesClosed();
    if(k == 1)
    {
        digitalWrite(stopFailLed,LOW);
    }
}

digitalWrite(mainSolenoid, LOW); //Closing the main solenoid for pressuretesting
digitalWrite(workingLed, HIGH);

for(int n = 1; n <=11; n = n + 1)
{
    stopStartButtonWait();
    if(n == 1)
    {
        led = ledMin;
    }
}
```

```
int ledBlink = ledMin + n - 1;

for(int z = 0; z <= 82; z = z + 1) //82*(500+500)*11= 902 sec = 15min
{
    digitalWrite(ledBlink, HIGH);
    stopStartButtonWait();
    delay(500);
    digitalWrite(ledBlink, LOW);
    stopStartButtonWait();
    delay(500);

    ledBlink = ledBlink + 1;

    if(ledBlink >= workingLed)
    {
        ledBlink = ledMin + n - 1;
    }
}
digitalWrite(led, HIGH);
led = led + 1;
}

for (int z = ledMin; z <= ledMax; z = z + 1)
{
    digitalWrite(z, LOW);
    delay(1);
}

startButtonWait();

}
```

VTC800 Headstock Chiller Test Unit

1. Lift the VTC800 Headstock onto the workbench
2. Fit 11 O-rings on top of casting and 2 O-rings on front of casting. O-ring type – P11

3. Fit the coolant test manifolds :



Tighten slightly with 10 M12 screws

4. Fit coolant input tubes:



NOTE:

It does not matter which tube is attached on any input as long as the tube is of applicable type

5. Make sure all 11 valves are in closed position. (horizontal)
6. Turn on the pump and set the pressure to 2 BAR

7. Open main tap and check if the panel pressure gauge corresponds to the pressure shown by the gauge on the pump.

If not:

Adjust the pump so the panel pressure gauge shows 2 BAR

NOTE:

It might take some time for the pump to build up the system pressure. Wait until the panel indicator stands completely still.

8. Close the main tap

Chiller test:

9. Turn the power switch on and wait for the ready lamp to light up.

Press the **START BUTTON** and wait approx. 11 min as the computer is performing the test.

10. Make sure all 11 lamps are lit.
If so, all drillings are tested and OK

Pressure test:

11. Make sure the main tap is closed (horizontal)

12. Increase pressure to 6 BAR and make sure the panel pressure gauge reaches 6 BAR.

If not: adjust the pump so that the panel pressure gauge reaches and stays on 6 BAR

Press the **GREEN BUTTON** and wait 15 minutes. When all 11 lights are lit 15 minutes has past.

Check casting and plugged holes for leaks visually and check pressure gauge for pressure drop. The pressure should not drop more than 1 BAR

NOTE:

The computer does not detect leaks or pressure drop. This is to be made manually.

Drain:

13. Open all taps: 11 Control panel taps, Main tap and Drain tap. Wait approx. 30 seconds for the system to drain

14. Detach all input tubing and empty any remaining coolant in the spillage tray. Wipe of the tubing before attaching it to the rig.

15. Detach the top manifold, wipe of and store at intended shelf. Detach the front manifold, wipe of and store in the cabinet.

