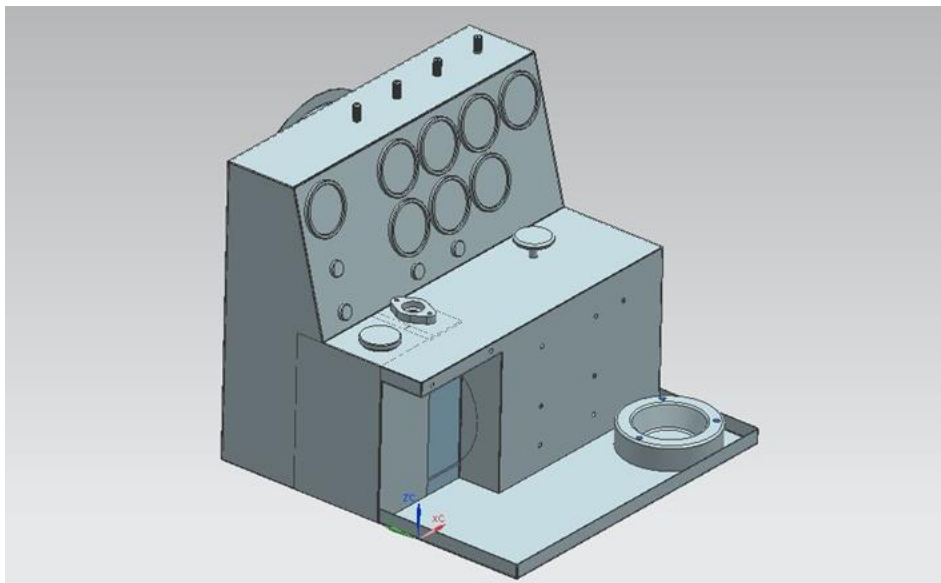


Utveckling av hydrauliktestutrustningskoncept för Rolls-Royce och Bentley

Andreas Lund



EXAMENSARBETE
Maskiningenjör, Produktutveckling med design
Institutionen för ingenjörsvetenskap

Förord

Ett varmt tack riktas till Anders Rohdin, VD för Rohdins Automobile Service AB, som gett mig möjligheten att genomföra detta arbete. Processen har varit både lärorik och insiktsfull. Tack även till Marinus Rijkers och Rob Wilde som är ansvariga för websidan www.rrsilvershadow.com, för att jag fått tillåtelse att använda några av Rob Wildes illustrationer för beskrivning av hydraulsystemet i den aktuella biltypen. Även Jan Wallberg på Parker Hannifin AB i Trollhättan tackas för svar på frågor inom hydraulikens värld. För upplysningar gällande produktsäkerhet, lagar och direktiv tackar jag Anders Nilsson vid Högskolan Väst. Stort tack även till min handledare Mattias Ottosson (HV) och examinator Mikael Ericsson (HV).

Trollhättan, maj 2016



Andreas Lund

Utveckling av hydrauliktestutrustningskoncept för Rolls-Royce och Bentley

Sammanfattning

Denna rapport utgör den skriftliga delen av ett examensarbete inom ämnesområdet maskinteknik, vid Högskolan Väst i Trollhättan. Ett koncept avsett för test av hydraulikkomponenter i bilmodellerna Rolls-Royce Silver Shadow och Bentley T-series har tagits fram och arbetet är utfört i samarbete med Rohdins Automobile Service AB i Trollhättan. Företaget är specialiserat på service, reparationer och renoveringar av bilmärkena Rolls-Royce och Bentley. Några av de vanligast förekommande bilmodellerna på företaget är Rolls-Royce Silver Shadow och Bentley T-series, vilka har ett relativt avancerat hydrauliskt system för nivåreglering. Systemet är konstruerat för att hålla bilens höjd konstant oavsett lastmängd.

Det är dock vanligt förekommande med problem i nivåregleringssystemet, vilket kan resultera i nedsatt bromsförmåga. Felsökning med nuvarande tillvägagångssätt tar ofta lång tid och en effektivare metod efterfrågas. Ett koncept till en produkt som skall underlätta felsökning av hydraulikkomponenter har därför tagits fram.

Metoden för det genomförda arbetet är upplagd som en del av en produktutvecklingsprocess och bygger på insamling av bakgrundsdata, informationsbearbetning, konceptutveckling samt sammanställning och presentation av valt koncept. Konceptet innebär möjlighet att kunna funktionstesta samtliga komponenter i nivåregleringssystemet. Möjlighet finns även koppla in testutrustningen till bilens hydraulsystem och prova hela nivåregleringssystemet på plats. Testprincipen bygger på att trycksätta de olika hydraulikkomponenterna och mäta flöden och tryck på en eller flera punkter. Varje komponent har sina specifika egenskaper och genom sammanställning av mätvärden kan funktionen kontrolleras. Testutrustningen består av mätutrustning för tryck och flöden samt ett pumpsystem för att kunna förse hydraulikkomponenterna med hydraulvätska. Utrustningen är tänkt att användas i verkstadsmiljö och drivs elektriskt. Potential finns att uppgradera testutrustningen med ett styrsystem som möjliggör automatiserade testprogram.

Datum:	2016-05-25
Författare:	Andreas Lund
Examinator:	Mikael Ericsson
Handledare:	Mattias Ottosson (Högskolan Väst)
Program:	Maskiningenjör, Produktutveckling med design
Huvudområde:	Maskinteknik
Kurspoäng:	15 högskolepoäng
Utgivare:	Högskolan Väst, Institutionen för ingenjörsvetenskap, 461 86 Trollhättan Tel: 0520-22 30 00, E-post: registrator@hv.se , Web: www.hv.se

Concept development for hydraulic test equipment

Summary

This document is my bachelor's thesis at The University West, Trollhättan, Sweden. The project is made as a part of a product development process in cooperation with Rohdins Automobile Service AB, Trollhättan, Sweden. The company's speciality is service, repairs and renovations of Rolls-Royce and Bentley motor cars. Some of the most common cars in the workshop is Rolls-Royce Silver Shadow and Bentley T-series. These cars have a relatively advanced hydraulic height control system and the purpose is to keep the height of the car constant, independent of load conditions.

Malfunction in the height control system is a fairly common problem and can result in reduced brake capacity. Present methods for fault diagnosis will often be time consuming and there is a demand for a more efficient way. Therefore, a concept for a hydraulic test equipment has been developed.

The most important parts of the development process are research, identify needs, concept development and presentation. The concept will make it possible to test all height control components. The test equipment can also be connected to the car to test the complete height control system. The principal function builds on pressurizing hydraulic components to measure flow- and pressure characteristics. All components in the height control system has their own specific values of flow and pressure, which makes it possible to indicate the condition. The test equipment is electrically driven and is intended to be used in the workshop. It is possible to upgrade the product with a software based control system, so that automatic test programs can be used.

Date:	May 25, 2016
Author:	Andreas Lund
Examiner:	Mikael Ericsson
Advisor:	Mattias Ottosson (University West)
Programme name:	Mecanical Engineer 180 hp
Main field of study:	Mecanical Engineering
Course credits:	15 HE credits
Publisher:	University West, Department of Engineering Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN Phone: +46 520 22 30 00, E-mail: registrator@hv.se , Web: www.hv.se

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Uppdrags- och problembeskrivning	1
1.2.1 Syfte	1
1.3 Hydraul- och nivåregleringssystem	1
1.3.1 Nivåregleringssystemet.....	3
1.3.2 Exempel på vanligt förekommande fel.....	5
2 Metod	6
2.1 Krav	6
2.2 Specifikationer	7
2.3 Koncept och konceptval	7
2.4 Konstruktionsarbete och materialval	7
2.5 Riskanalys	7
3 Resultat	8
3.1 Krav	8
3.1.1 Identifierade krav	8
3.2 Specifikationer	9
3.3 Drivsystem.....	9
3.4 Koncept	12
3.4.1 Koncept och konceptval.....	12
3.4.2 Vinnande koncept	13
3.4.3 Utformning	15
3.4.4 Konstruktion	16
3.5 Användning och hantering av testutrustning	18
3.5.1 Bruksanvisning.....	18
3.5.2 Kostnadsanalys.....	21
3.6 Riskanalys	21
4 Diskussion	22
4.1 Materialval, utformning och funktion	22
4.2 Säkerhet och arbetsmiljö.....	22
4.3 Miljöaspekter	23
5 Slutsats	23
Bilagor	
A: Beräkningar motoreffekt och kraft från hydraulcylinder.....	A:1
B: Varianter på pumpdrivning.....	B:1
C: Beräkning av balk för infästning av pump och motor.....	C:1
D: Beräkning av fäste för hydraulcylinder.....	D:1
E: FMEA.....	E:1

1 Inledning

Denna rapport utgör den skriftliga delen av ett examensarbete inom ämnesområdet maskinteknik, vid Högskolan Väst i Trollhättan. Arbetet är utfört enskilt i samarbete med Rohdins Automobile Service AB i Trollhättan och är genomfört som en del av en produktutvecklingsprocess, anpassad efter företagets behov och begränsningar. Grunden till arbetet är ett identifierat behov av en produkt, som kan underlätta felsökning av komponenter i ett hydraulsystem och därigenom reducera felsökningens tidsåtgång. Fokus har lagts på att hitta ett fullt realistiskt och genomförbart koncept för att tillgodose företagets behov.

1.1 Bakgrund

Företaget Rohdins Automobile Service AB är specialiserat på service, reparationer och renoveringar av Rolls-Royce och Bentley. Till de mest förekommande modellerna hör Rolls-Royce Silver Shadow och Bentley T-Series. Dessa bilar har ett hydraulsystem som innefattar bromssystem och ett system för att hålla bilens höjd konstant oavsett last, vanligen kallat nivåreglering [1]. Hydraulsystemet består av ett stort antal komponenter och fel i nivåregleringssystemet är ett vanligt förekommande problem. Fel som tryckbortfall och/eller utebliven nivåreglering kan bero på ett flertal orsaker och det är svårt att på ett snabbt och effektivt sätt hitta felkällan. Felsökningen kan därför ta lång tid och bli kostsam för kunden och i förlängningen även för företaget. En testutrustning för nivåregleringens hydraulikkomponenter vore därför önskvärd. En sådan utrustning gör det även möjligt att säkerställa funktion hos begagnade hydraulikkomponenter.

1.2 Uppdrags- och problembeskrivning

Uppdraget är att fram ett koncept som kan ligga till grund för tillverkning av en prototyp till en hydrauliktestutrustning passande Rolls-Royce Silver Shadow och Bentley T-series, där nivåregleringssystemets hydraulikkomponenter kan testas. Arbetet omfattar drivning av hydraulpump, dimensionering och att på ett smidigt ändamålsenligt sätt kunna prova kritiska hydraulikkomponenter. Projektet är avgränsat till att innefatta framtagning och val av koncept, materialval, relevanta hållfasthetsberäkningar, riskanalys samt dokumentation i form av en CAD-modell och skriftlig rapport.

1.2.1 Syfte

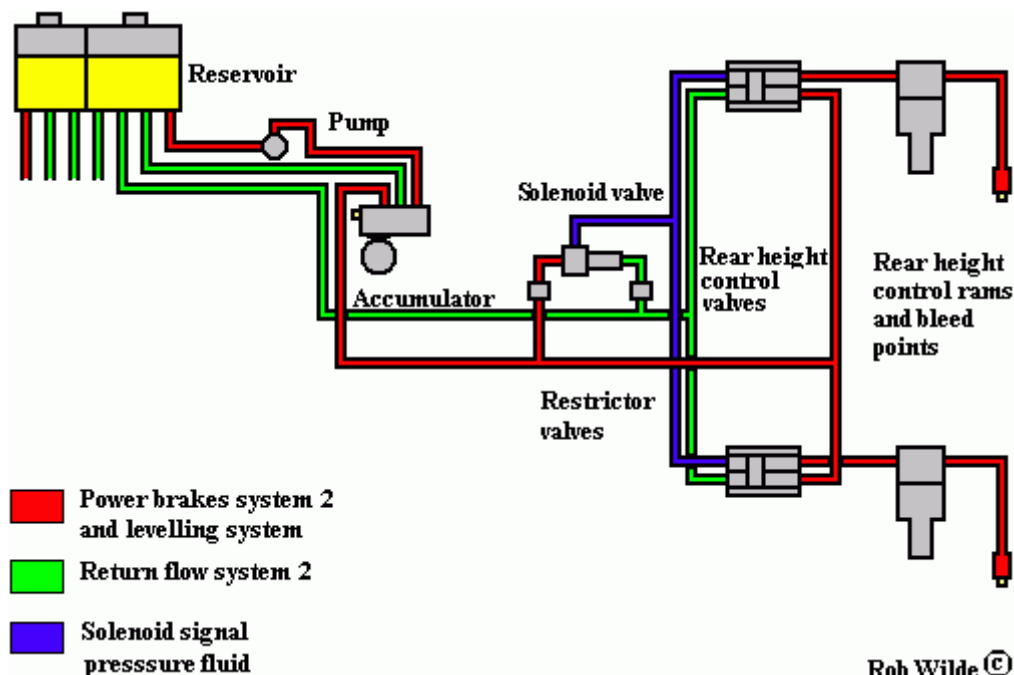
Syftet med att ta fram ett hydraulikfelsökningskoncept är att reducera tidsåtgången för hydraulikfelsökning.

1.3 Hydraul- och nivåregleringssystem

Ett nivåregleringssystem i en bil har till uppgift att hålla fordonets höjd konstant oavsett last. Olika system har genom åren använts av ett flertal biltillverkare och en vanlig variant är att

konstruera bilens bakre stötdämpare, så att de genom fjädringsrörelserna ”pumpas” upp till ursprunglig nivå vid körning [2]. Olika typer av ”luftfjädrar” finns också [2]. Systemet för de i detta arbete aktuella bilmodellerna kan närmast jämföras med den princip som 1955 började användas i Citroën DS, där ett hydraulsystem drivet av bilens motor sköter nivåreglering och bromssystem [3].

Hydraulsystemet i Rolls-Royce Silver Shadow och Bentley T-series innefattar bromssystem och nivåregleringssystem och är till viss del sammankopplade, se Figur 1 [4]. Systemet har två hydraulpumpar av kolvtyp, där den ena driver en av bilens bromssystemskretsar, medan den andra pumpen levererar tryck till både den andra bromssystemskretsen och nivåregleringssystemet. Pumpens utseende framgår av Figur 2.



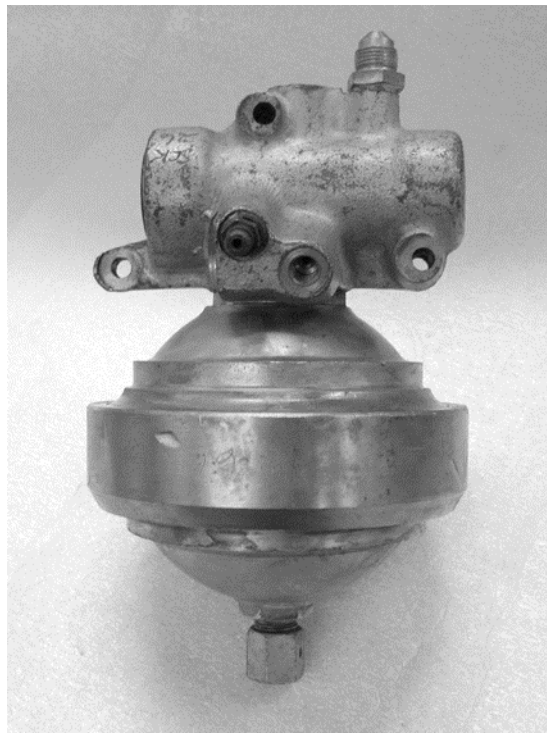
Figur 1. Översiktsschema för hydrauliksystem.

De båda hydraulpumparna sitter monterade på bilens motor där drivningen för respektive pump sker genom att en excenter på motorns kamaxel skapar en fram- och återgående rörelse hos en lyftare och en stötstång, som i sin tur trycker direkt mot pumpkolven. Återgång av kolven sker med fjäderkraft. En hydraulvätskebehållare uppdelad i två sektioner, en för respektive pumpkrets, förser via självtryck de båda pumparna med den för systemet avpassade vätskan Castrol RR363 [1]. Från vardera pump trycks vätskan till respektive ventilhus, vars uppgift är att reglera trycket i systemet, som normalt ligger kring 170 till 180 bar [1]. Till varje ventilhus är även en tryckackumulator ansluten, bestående av en stålbehållare med ett butylgummimembran [1]. Membranets ena sida är trycksatt med kväve (N) med ett tryck av 70 bar och på membranets andra sida lagras hydraulvätska [1]. Tryckackumulatorernas uppgift är att jämna ut plötsliga tryckvariationer och fungera som bromskraftsreserv vid motorbortfall [1]. Tryckackumulator och ventilhus kan ses i Figur 3. Från de två ventilhusen förses bromssystemet och nivåregleringssystemet med tryck och den

vätska som inte åtgår till dessa system leds tillbaka till behållaren via returledningar, se Figur 1.



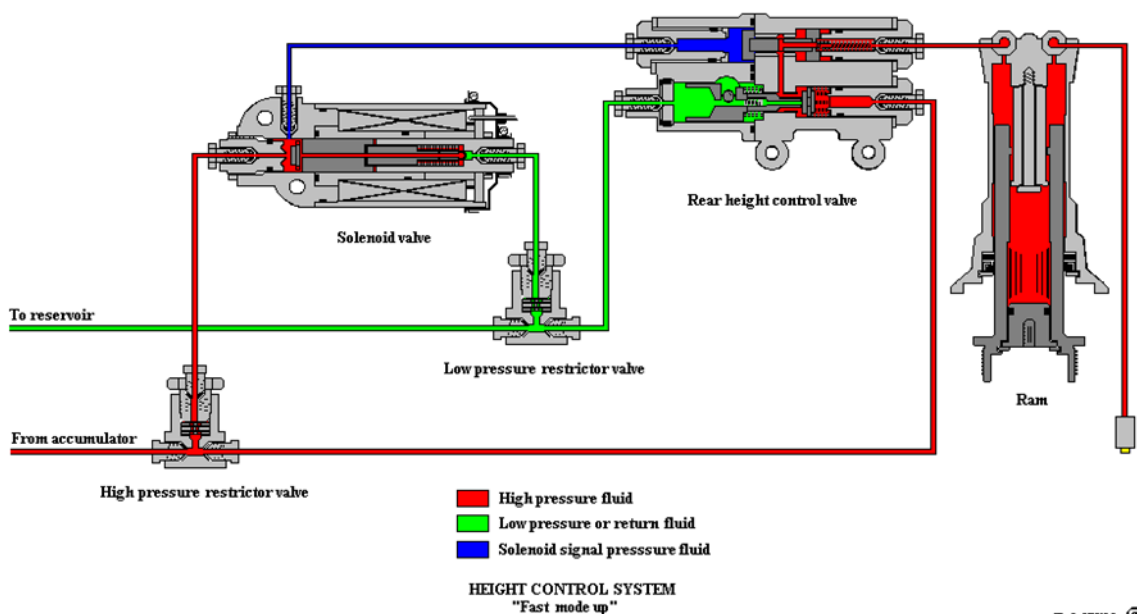
Figur 2. Hydraulpump.



Figur 3. Tryckackumulator och ventilhus.

1.3.1 Nivåregleringssystemet

Principen för nivåregleringssystemet i Rolls-Royce Silver Shadow och Bentley T-Series framgår av Figur 1 och 4 och funktionen är enligt följande: Nivåreglering möjliggörs genom att det vid respektive fjäder i bilens bakhjulsupphängning sitter en hydraulcylinder mellan fjäder och kaross [5]. Detta arrangemang erbjuder inte bara möjlighet till konstant höjd inom tillåten lastmängd, utan även hårdare fjädring vid ökad last genom ökad fjäderförspänning [1]. Höjden på bilens bakvagn avläses av två nivåventiler, en på var sida kopplade via länkage till hjulupphängningens bärarmar. Nivåventilerna matas med tryck från pumpkrets två och då bilen tyngs ned släpper nivåventilerna på tryck till hydraulcylindrarna, som trycker på fjädrarna. Då nivåventilerna känner att korrekt höjd erhållits stängs vätskeflödet till hydraulcylindrarna och rätt höjd hålls [1].

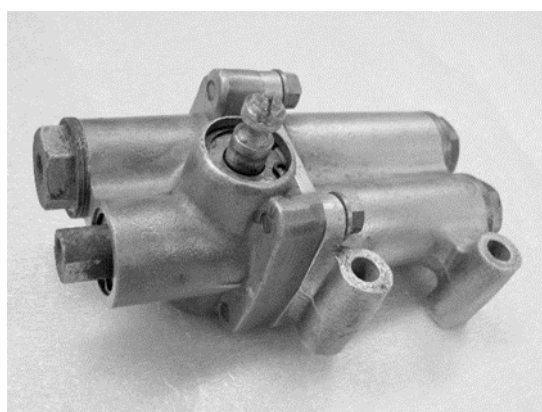


Figur 4. Översiktsschema nivåregleringssystem.

För att undvika att nivåregleringssystemet försöker kompensera för fjädringsrörelser vid körning är systemet försett med ytterligare en funktion. Omedelbar reglering sker endast då någon av bilens dörrar är öppna och/eller växelspaken befinner sig i läge "Park" eller "Neutral", det vill säga när bilen står still. Med stängda dörrar och växelspaken i något av körlägena reglerar istället nivåregleringssystemet med reducerad fart, vilket åstadkoms genom att en elektriskt styrd ventil, vanligen kallad solenoidventil, påverkar nivåventilerna så att flödet till hydraulcylindrarna begränsas och långsam reglering erhålls [1], [5]. Solenoidventil och nivåventil kan ses i Figur 5 respektive 6.



Figur 5. Solenoidventil.



Figur 6. Nivåventil

1.3.2 Exempel på vanligt förekommande fel

Tabell 1 visar exempel på fenomen som kan uppkomma utan att uppenbara fel som utvändigt läckage eller dylikt förekommer.

Tabell 1. Vanligt förekommande fel i hydrauliksystemet.

Fenomen	Orsak	Resultat	Rek. Åtgärd
Ingen reglering	Defekt pumptryckstång	Tryckbortfall krets 2	Byt tryckstång, kontrollera att pumpkolven inte kärvar
	Defekt pump		Renovera/byt pump
	Defekt ventilhus	Tryckbortfall krets 2 (internt läckage)	Renovera/byt ventilhus
	Defekt nivåventil		Renovera/byt nivåventil
	Defekt solenoidventil		Renovera/byt solenoidventil
	Systemet reglerar enbart långsamt		Fördröjd nivåreglering
	Defekt (kärvande) solenoidventil		
	Defekt nivåventil		
	För lågt gastryck i tryckackumulator		Renovera tryckackumulator
	Systemet reglerar enbart snabbt		Instabilitet och oljud vid körning
	Defekt solenoidventil		
	Defekt nivåventil		
	Tät restriktorventil		Rengör restriktorventil
	Bilen bromsar vid hastig utfjädring		Ryckighet och oljud vid körning över ojämnheter

Som framgår av Tabell 1 kan ett flertal fel uppkomma, där flera av felen kan dessutom ge likartade symptom. Detta gör felsökningsproceduren komplicerad. Nuvarande testmetoder innebär ofta att systemets olika komponenter byts ut eller renoveras en efter en, för att tillslut identifiera ett fel. Risk finns att en eller flera fungerande komponenter kan råka bytas ut eller renoveras av misstag. Resultatet blir därför ineffektiv och tidskrävande felsökning. En testutrustning anpassad efter systemet skulle därför kunna innebära en avsevärd reduktion av tidsåtgången vid felsökning. Att döma av erfarenheter från flera fall av långdragen felsökning är en uppskattad genomsnittlig minskning med 50 % fullt rimlig.

2 Metod

Projektets utgångspunkt var att från ta fram ett koncept för en produkt, som utifrån givna förutsättningar och identifierade krav, på ett så bra sätt som möjligt tillgodoser ett upplevt behov. Arbetsmetoden kan ses som en kombination av fallstudie och aktionsforskning, där tillvägagångssättet är uppbyggt som en del av en produktutvecklingsprocess. Denna följer till viss del den princip som beskrivs i boken *Product Design and Development*, Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger, 2012 [6]. Processen är dock anpassad efter omständigheter som ett mycket specifikt användningsområde, företagets ringa storlek och att både kunden och användaren i detta fall är företaget, då produkten enbart är tänkt att användas i den egna verkstaden. Tillverkning skall dessutom kunna i företagets verkstad men serietillverkning för försäljning är inte aktuellt.

Strukturen för arbetet i sin helhet framgår nedan:

- Identifiera kundkrav
- Ta fram specifikationer
- Generera koncept
- Konceptval
- Konstruktionsarbete och materialval
- FMEA
- Dokumentation i form av skriftlig rapport och Cad-modell

2.1 Krav

För att ta reda på krav och förväntningar som ställs på produkten tillfrågades såväl personal som företagsledning. Företagsledningens krav omfattar kostnad, säkerhet och tidsåtgång och ger en ram att hålla sig inom, där övriga krav skall tillgodoses på ett så bra sätt som möjligt. Personalens åsikter är av mycket stor vikt, då det är de som i detta fall är de framtida användarna. Är inte användaren nöjd med en produkt blir sannolikt inte heller resultatet av användningen optimal [7].

Ett antal konkreta krav framkom, likaså även punkter av mer diffus karaktär. Dessutom framkom ytterligare krav vid undersökning av regler kring arbetsmiljö och gällande direktiv. Kraven rangordnades sedan i kategorierna ”Bör-krav” och ”Skall-krav”, för att tydligt se vad som måste uppfyllas och vilka punkter som är bra om de uppfylls [6].

2.2 Specifikationer

Specifikationerna bygger i grund och botten på de krav som ställts på produkten. Då samtliga komponenter i nivåregleringssystemet skall kunna testas krävs att testutrustningen har minst samma flödeskapacitet för hydraulvätska som bilens eget hydrauliksystem. Likaså krävs fästpunkter och anslutningsmöjligheter för de olika komponenterna som skall testas. Mätutrustningens egenskaper och kapacitet bestäms av bilens tryck- och flödesegenskaper.

2.3 Koncept och konceptval

Utifrån krav och specifikationer togs flera koncept fram i form av skisser och anteckningar. Testutrustningens funktionsprincip delades in i två delfunktioner: drivning och testprincip. De olika alternativen utvärderades ur olika aspekter och sällades ned till ett vinnande koncept. Aspekter som vägdes in var hur väl drivmetoder, användarvänlighet, effektivitet och servicebehov överensstämde med behoven och kraven i den aktuella verkstadsmiljön.

2.4 Konstruktionsarbete och materialval

Konstruktionsarbetet innebar att ta fram en infästning för drivsystemet och ett hölje för inneslutning av mätutrustning, drivsystem och hydraulvätskebehållare, som dessutom medger fastsättning för de komponenter som skall kunna testas. Beräkning av hydraulikpumpens effektbehov har genomförts för att ligga till grund för motorval. Materialval grundar sig i huvudsak på den utrustning och kompetens för materialbearbetning som finns inom företaget. Detaljer som har ansetts kritiska ur belastningssynpunkt har dimensionerats genom hållfasthetsberäkningar för att klara de påfrestningar som de kommer att utsättas för.

2.5 Riskanalys

Testutrustningen arbetar med relativt höga tryck, rörliga delar finns och den skall kunna hanteras av personal på företaget. Användningen kräver kunskap inom området och kan inte ses som helt riskfri. En felriskanalys (FMEA) genomfördes därför, för att tydliggöra vilka risker som är av störst betydelse, se Bilaga E [8]. Varje risk får ett uppskattat värde mellan ett och tio på för dess allvarlighetsgrad respektive sannolikhet. Talen multipliceras med varandra och ett så kallat RPN-tal (risk priority number) erhålls [8]. Exempelvis får ett allvarligt, svårupptäckt fel, som ofta uppkommer få således mycket högt RPN-tal [8].

3 Resultat

I detta kapitel redovisas resultatet av det genomförda arbetet, från identifiering av krav till ett slutgiltigt koncept.

3.1 Krav

Kraven ligger till grund för vad en planerad produkt skall kunna åstadkomma. Genom intervjuer och egen erfarenhet identifierades ett antal specifika krav.

3.1.1 Identifierade krav

I Tabell 2 framgår de krav som framkommit. Här kan konstateras att samtliga komponenter i nivåregleringssystemet önskas kunna testas. Utrustningen skall kunna tillverkas i den egna verkstaden och kunna drivas och hanteras på ett smidigt sätt. Grunden till behovet av en testutrustning är att felsökningstiden önskas kunna reduceras och målet är en halvering. Tillverkningstiden för en prototyp är satt till maximalt 40 timmar och användning av befintliga bildelar ses som fördelaktigt där så verkar lämpligt. Hantering och användning skall vara enkel. Alla komponenter som skall testas behöver kunna anslutas och monteras på ett användarvänligt och säkert sätt och utrustningen i sin helhet skall vara ändamålsenlig.

Tabell 2. Identifierade krav.

Skall-krav	Bör-krav
Kunna testa alla komponenter i nivåregleringssystemet	Minimera vätskaspill
Vara möjlig att tillverka i företagets verkstad	Återcirkulation av urluftad hydraulvätska
Minska genomsnittlig tid vid hydraulikfelsökning med minst 50 % jämfört med nuvarande metoder	Vara flyttbar
Uppskattad tid för prototyp tillverkning max 40 timmar	Användning av standardkomponenter / befintliga bildelar där så är möjligt
Låg tillverkningskostnad	Variabel pumphastighet vid test
Säker att använda och hantera	
Enkel montering av komponenter för test	
Enkel och tydlig hantering	
Vara ändamålsenlig	

Utformningen bör vara sådan att vätskespill minimeras och urluftad vätska återanvänds. Utrustningen bör samtidigt inte vara tyngre eller större än att det är möjligt för en person att själv placera den på en arbetsbänk. Den högsta tillåtna vikten uppskattas till cirka 35 kg. Det skulle även kunna vara lämpligt med variabel pumphastighet vid test.

Företagets verkstadsutrustning omfattar utöver de inom bilverkstäder vanligt förekommande verktygen och maskinerna, även specialverktyg för Rolls-Royce och Bentley. Dessutom finns även olika maskiner för metallbearbetning som svarv, svetsutrustning för stål och aluminium med mera. Kravet ”vara möjlig att tillverka i företagets verkstad” innebär i realiteten att tänkbara material för produkten huvudsakligen bör vara stål och/eller aluminium.

3.2 Specifikationer

För att testsystemet skall vara användbart och fungera tillsammans med bilens hydraulikkomponenter måste testutrustningens komponenter hålla sig inom vissa specificerade värden. Detta gäller för såväl mätutrustning, pumpkapacitet, tryck, motoreffekt, varvtal och så vidare, se Tabell 3 nedan. För beräkningar hänvisas till Bilaga A.

Tabell 3. Specifikationer för testsystemet.

Maximal pumpkapacitet	2,5 l/min
Pumphastighet	300 – 1500 slag/min
Effektbehov pumpdrivning	500 W vid 1500 slag/min
Systemtryck	180 bar
Gasträck tryckackumulator	70 bar
Vätskevolym tryckackumulator	0,2 l
Vätskevolym hydraulvätskebehållare	Min. 1 l
Min. reglerområde tryckregulator	80 – 200 bar
Mätområde tryckmätare	0 – 200 bar
Mätområde flödesmätare	0,02 – 6 l/min

3.3 Drivsystem

För att prova de olika komponenterna som skall kunna testas krävs att de utsätts för de tryck och flöden som de har vid normal drift i bilen. Detta innebär att testutrustningen kräver en pumpkapacitet kring 2,5 l/min, en tryckackumulator med gasträck på 70 bar och cirka 0,2 l vätskevolym och att systemet kan uppnå 180 bar [1]. Det ansågs därför lämpligt att använda befintliga bildelar för pump, ventilhus och tryckackumulator, då dessa finns tillgängliga och har just de egenskaper som krävs. Drivmetod för hydraulpumpen blev i och med detta en

delfunktion med de alternativa förslagen A, B och C, se Tabell 4 till 6. För att driva pumpen krävs en fram- och återgående rörelse på 13,3 mm inom området 300 till 1500 slag/ minut.

Tabell 4. För- och nackdelar med drivsystem enligt alternativ A.

A, elektromagnet, styrsystem	
+	Få delar
+	God möjlighet till styrning
-	Kräver styrsystem
-	Vidare undersökning krävs för att ge pumpen realistiska driftsförhållanden
-	Komponenterna finns inte redan tillgängliga

Tabell 5. För- och nackdelar med drivsystem enligt alternativ B.

B, tryckluftdriven kolv	
+	Få delar
+	Enkel princip
-	Svårare att styra med precision
-	Vidare undersökning krävs för att ge pumpen realistiska driftsförhållanden
-	Komponenterna finns inte redan tillgängliga
-	Servicebehov

Tabell 6. För- och nackdelar med drivsystem enligt alternativ C.

C, elmotor, kam, lyftare och stötstång från bil	
+	De flesta delarna finns redan tillgängliga
+	Många av delarna fungerar redan för ändamålet
+	Billigt
+	Ger pumpen realistiska driftsförhållanden
+	God möjlighet till hastighetsreglering
-	Många delar
-	Servicebehov

För att produkten skall vara funktionsenlig krävs att den drivs av någon av de energikällor som finns tillgängliga i verkstadsmiljö. Dessa är i huvudsak enfas växelström 230 V 50 Hz och två- eller trefas 400 V 50 Hz, samt tryckluft. I Sammanhanget är det 230 V 50 Hz och/eller tryckluft som är rimliga, där båda alternativ uppfyller kraven på tillgänglighet och hantering. De olika drivmetoderna med deras för- och nackdelar framgår i Tabell 7 och 8.

Tabell 7. För- och nackdelar med tryckluft i verkstadsmiljö.

Tryckluft	
+	God tillgänglighet i verkstadsmiljö
+	Enkel hantering
-	Stora effektförluster (Att ur el skapa rörelseenergi för att komprimera luft, för att sedan skapa rörelseenergi igen)
-	Risk för hög ljudnivå
-	Många rörliga delar (servicebehov)
-	Mer än en anslutning för drivning krävs (solenoidventilen kräver ström vid test)

Tabell 8. För- och nackdelar med elektricitet 230 V i verkstadsmiljö.

Elektricitet 230 V, 50 Hz	
+	God tillgänglighet, även utanför verkstadsmiljö
+	Enkel hantering
+	En anslutning kan driva hela utrustningen
+	Möjlighet till precisionsstyrning och avancerad testning
+	God möjlighet till låg ljudnivå
-	Frågor kring elsäkerhet får beaktas

För att testa nivåregleringssystemets solenoidventil krävs dock 12 V likström, vilket gör tryckluft mindre lämpligt, då både el och tryckluftsanslutning i så fall behövs. Sammanställning av för- och nackdelar inom kategorierna drivmetod och energikälla, resulterar i att kombinationen elmotordrift 230 V och pumpdrivning enligt variant C ses som mest lämplig och därför väljs att arbeta vidare med, se Bilaga B samt Tabell 5 och 6.

För drivning krävs en elmotor och olika varianter finns med olika egenskaper. Önskvärt är att det finns möjlighet att kontrollera motorns varvtal oavsett belastning, detta för att kunna ge hydraulvätskan ett jämnt flöde. En lämplig motortyp är därför en synkronmotor. Inom sitt belastningsområde håller motortypen ett konstant varvtal beroende av växelspanningens frekvens. På så sätt går även varvtalet att reglera kontrollerat genom ändrad frekvens [9].

3.4 Koncept

Ett enkelt sätt att kontrollera komponenternas funktion är att i en kompakt enhet bygga ihop hydraulsystemet som det fungerar i bilen, fast se till att de olika komponenterna blir lätt åtkomliga och individuellt utbytbara mot de som skall testas. En komponent monteras, testkörs och det blir uppenbart om den fungerar eller ej. Ännu bättre vore om testet inte nödvändigtvis behöver föregås av demontering av motsvarande detalj från testutrustningen, för att sedan sätta dit den komponent som skall testas. Dessutom kan en något bristfällig komponent få godkänt resultat, då resultatet bara blir antingen funktion eller ej funktion.

Ett mer sofistikerat alternativ är att låta grunden till testutrustningen bestå av hydraulpump, tryckackumulator och ventilhus, för att genom tryck- och flödesmätning kontrollera de komponenter som skall testas. Här finns även möjlighet att kunna upptäcka begynnande fel, då uppmätta värden kan jämföras med referensvärden.

Ytterligare en variant är att använda en inköpt elektriskt driven hydraulpump för att åstadkomma erforderligt tryck och flöde. Nackdelen är främst att möjligheten att testa en lös hydraulpump försvinner. Den främsta positiva aspekten skulle vara enklare uppbyggnad av testsystemet.

3.4.1 Koncept och konceptval

De alternativa koncept som framkommit är uppdelade i två grundprinciper, ”byt och prova” och ”tryck- och flödesmätning”. Det förstnämnda syftar på varianten med ett komplett hydraulsystem där valfri komponent byts ut mot den som skall testas. ”Tryck- och flödesmätning” innebär varianten där en komponents tryck- och flödesegenskaper provas och jämförs med referensvärden. Poängsättningen är satt som en sammanställning av för- och nackdelar, där ett poäng är lägst och fem högst. Det alternativ som erhöll högst poäng var drivningsmetod C i kombination med ”tryck- och flödesmätning”, se Tabell 9.

Tabell 9. Alternativa koncept.

Drivmetod:	Testtyp:	Fördelar:	Nackdelar:	Poäng:
Alt. C , Elmotor, excenter, stötstång.	”Byt och prova”.	Enkel testprincip, test av samtliga komponenter.	Omständlig hantering, oprecis testmetod, många rörliga delar.	2
Alt. D , Inköpt eldriven pump, ack och ventilhus.	”Byt och prova”.	Enkel testprincip.	Omständlig hantering, oprecis testmetod, bilens hydraulpump kan ej testas.	1
Alt. C	”Tryck och flödesmätning”.	Enkel hantering, alla komponenter kan testas, precist test-resultat.	Många rörliga delar	4
Alt. D	”Tryck och flödesmätning”.	Enkel hantering, precist testresultat.	Lös hydraulpump kan ej testas.	3

3.4.2 Vinnande koncept

Pumpdrivningsmetod C i kombination med en synkronmotor valdes. Motorn driver en excenter som trycker på en lyftare, som i sin tur trycker på en stötstång som i nästa led trycker på hydraulpumpens kolv. Lyftare med hållare, tryckstång och pumpfäste finns tillgängliga som bildelar. Excentern svarvas fram i ett stycke tillsammans med dess axel som ansluts direkt till motoraxeln. Synkronmotorn anses lämplig då den inom sitt belastningsområde håller ett fast varvtal beroende på spänningens frekvens [9]. Motorn väljs så att varvtalet 1500 rpm erhålls vid 230 V, 50 Hz. Synkronmotorns egenskaper gör att möjlighet finns för mer avancerad testning genom frekvensmodulering. Som uppgradering skulle därför testutrustningen kunna kompletteras med ett styrsystem som kör ett testprogram där olika driftförhållanden simuleras. Som första steg räcker det dock att låta motorn vara antingen till- eller fränkopplad.

på väg mot, eller från, en mottagare. Ett konkret exempel är hur en tågvissla kan låta ljusare när ett tåg närmar sig och mörkare när det är på väg bort [12]. Genom att skicka in ultraljud i ett vätskeflöde och mäta dopplereffekten erhålls flödes hastigheten [11]. Sätts denna i relation till flödets tvärsnittsarea erhålls vätskeflödet.

Fördelen med ultraljudsmätning är avsaknaden av rörliga delar och därigenom att vätskeflödet inte påverkas negativt av något mätthjul [11], [13]. I sammanhanget med den i detta arbete aktuella testutrustningen kan dock rotnors påverkan på vätskeflödet försummas och rotormätare ses som en godtagbar lösning.

Nedan ses vald mätutrustning och motor för pumpdrivning:

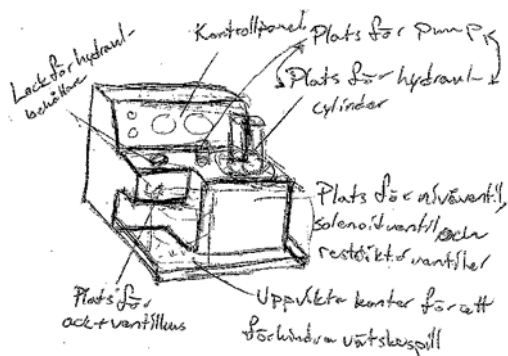
- För att möjliggöra en uppgradering av testmaskinen för mer automatiserad testning av komponenter väljs en elektronisk tryckmätare med ett mätområde upp till minst 200 bar. Signalen från dess givare kan tolkas av såväl programvara som visuell mätare.
- För att hålla nere antalet komponenter och minimera det utrymme som testutrustningens inre detaljer kräver föreslås färdiga så kallade mätblock ur Parker Hanifins sortiment [14]. Dessa ger möjlighet att i samma enhet mäta tryck, flöde och temperatur inom det intervall som krävs. De elektriska signalerna kan tolkas av såväl analoga mätare som programvara [14]. I ett första skede väljs analoga mätare.
- Elmotor Busck MY-80A-4 med en effekt på 550W vid 1400 rpm. Motorn anses lämplig med avseende på mått och prestanda [15]. Infästningen sker med skruvförband i dess främre gavel.

3.4.3 Utformning

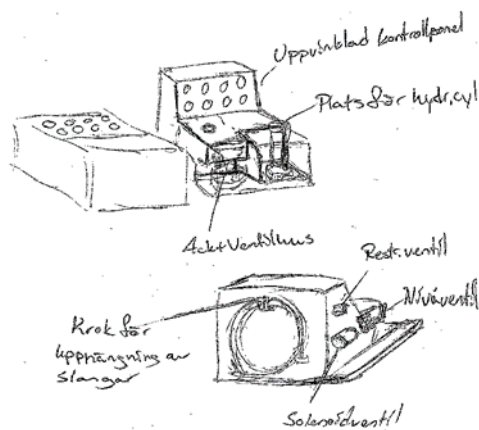
En produkts utformning har stor betydelse för hur den kommer tas emot av användaren [7]. Vid utformningen har hänsyn tagits till säkerhets- och miljöaspekter samt användarvänlighet. Ett antal punkter som ansetts viktiga framgår nedan:

- Uppvinklad kontrollpanel för tydlig och ergonomisk användning
- Lättåtkomliga reglage
- De fyra kretsarnas mätare, reglage och slangar är tydligt uppräddade och färgkodade för att minimera risken för felkoppling:
 - Röd – Systemtryck
 - Blå – Tryck med reducerat flöde
 - Gul – Variabel retur
 - Grön – Retur
- Bottenplatta med uppvikta kanter för att minimera vätskespill
- Separata infästningspunkter för respektive komponent vid test i bänk
- Krok för slanguppvindning på baksidan
- Integrerad hydraulvätskebehållare
- Inneslutna rörliga delar för minimerad klämrisk
- Automatisk tryckavlastning vid avstängning för att undvika att anslutningar till en komponent lossas under tryck

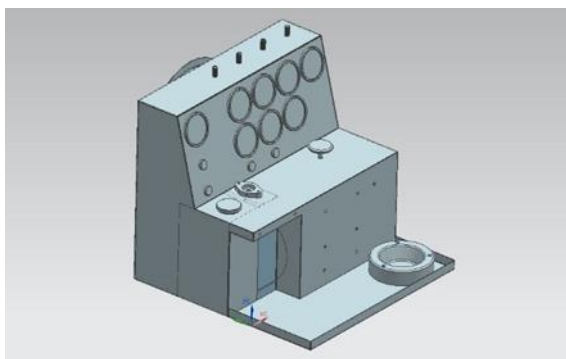
Olika idéförslag kring hur de olika detaljerna kan sättas samman för att få en funktionell helhet, har resulterat i ett antal skisser, se Figur 8 och 9. Skisserna har sedan legat till grund för CAD-modellering, se Figur 10 och 11.



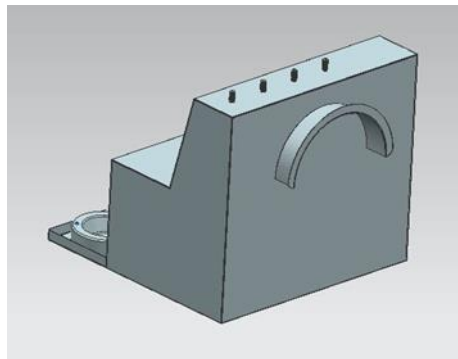
Figur 8. Utformningsförslag



Figur 9. Utformningsförslag



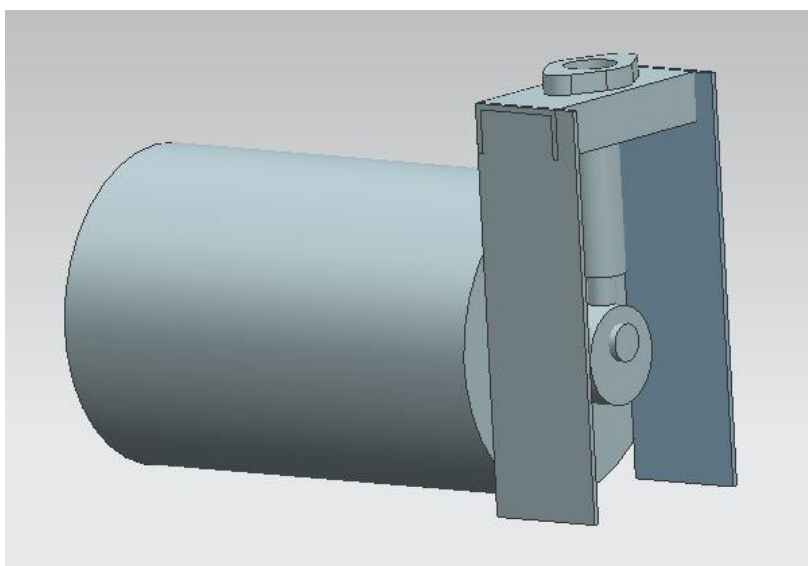
Figur 10. CAD-modell, framsida



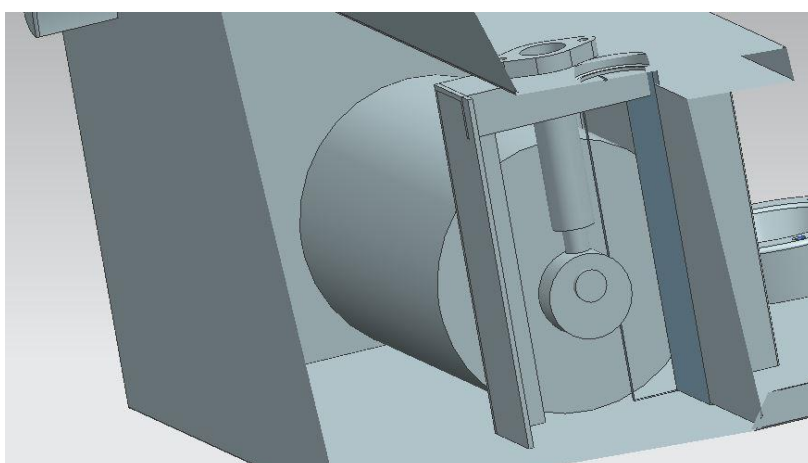
Figur 11. Cad-modell, baksida

3.4.4 Konstruktion

Testutrustningens ytterhölje består av 1 mm stålplåt som svetsas och skruvas ihop till en enhet. Drivsystemet, som beskrivits tidigare, utgörs av en kompakt enhet där pumpdrivningen sker med hjälp av en excenter direkt monterad på motoraxeln. Hydraulpumpens fäste sitter monterat i en U-formad balk uppbyggd av kallformade stålprofiler: U25/50/25x3 och L60/30x3, se Figur 12, 13 och Bilaga C, [16], [17]. Dessa svetsas samman till en enhet genom MIG-svetsning. Balken fungerar även som motorfäste och skruvas fast i ytterhöljet genom skruvförband.



Figur 12. Motor och infästningsbalk med hydraulpumpsfäste



Figur 13. Motor, balk och pumpfäste monterat i höljet

3.4.4.1 Dimensionering

Särskilt utsatta detaljer som beräknats med avseende på hållfasthet är den balk som utgör infästning för hydraulpumpen samt konsolen för test av hydraulcilindern. Genomförda beräkningar framgår av Bilaga C och D.

Hydraulpumpens infästningsbalk utsätts för en upprepad pulserande belastning på 1273 N vid dess mittpunkt där pumpen sitter monterad. Hålet för pumpinfästningen gör att balkens minsta tvärsnitt kan förenklas som två I-profiler med böjmoment enligt elementarfall 5. Maximal böjspänning beräknas till 61 N/mm², vilket får ses som klart godkänt, då utmattningsgränsen för stål SS 1312-00 vid böjning uppgår till 170 N/mm² [18]. Säkerhetsfaktorn mot utmattning blir således 2,8.

I hydraulcilinderns infästningskonsol skruvas hydraulcilindern fast med tre skruvar på samma sätt som den sitter monterad i bilen. Konsolen är formad som en kopp och hydraulcilindern trycker mot dess botten. Koppen svarvas fram i ett stycke och på grund av

dess relativt stora materialvolym väljs av viktskäl materialet aluminium SS-4120-00. Då hydraulcylindern trycksätts fungerar konsolen som mothåll och en skjuvspänning uppstår vid övergången mellan botten och sidorna. Trycket uppgår till maximalt 20,19 KN och resulterar i en skjuvspänning på 30,6 N/mm². Sträckgränsen för valt material är 150 N/mm², vilken vid skjuvning multipliceras med 0,6 och ger en maximal skjuvspänning på 90 N/mm² [18]. Säkerhetsfaktorn uppgår därmed till 2,94.

Excentern för drivning av pumpen efterliknar den som sitter på bilens kamaxel och är formad som en cylinder med 20 mm längd, 50 mm ytterdiameter och med centrumhålet på 19 mm diameter excentriskt förskjutet 6,65 mm. Detta för att ge slaglängden 13,3 mm. Materialet väljs till lagerbrons för att minimera behovet av kontinuerlig smörjning [19].

3.5 Användning och hantering av testutrustning

För att säkerställa korrekt funktion och säker hantering är det av yttersta vikt att hydrauliktestutrustningen hanteras på rätt sätt. Följande instruktion har tagits fram för att underlätta just detta.

3.5.1 Bruksanvisning

Observera att i de fall test utförs på komponenter monterade i bil måste det säkerställas att bilens hydraulsystem är helt trycklöst före demontering av anslutningar. Bilen bör i detta fall även vara placerad på en billyft med körramper, exempelvis en så kallad fympelaryft, så att hjulen är belastade, samtidigt som underredet är fullt åtkomligt.

Kontrollera först nivån i testutrustningens hydraulvätskebehållare och fyll på vid behov. Anslut sedan slangar enligt anvisningar till den komponent eller det system som skall testas. Slutligen kopplas testapparaturens nätkabel in och huvudströmbrytaren slås på, varpå hydraulpumpen startar och utrustningen är redo att användas då fullt systemtryck (180 bar) uppnåtts, vilket sker inom någon minut.

3.5.1.1 Test av nivåventil

Nivåventilen kan testas både som lös komponent på avsedd plats i testutrustningen, eller monterad i bilen efter det att dess röranslutningar lossats.

1. Anslut slangarna till nivåventilen enligt schema
2. Ställ in vredet för gul krets så att det är ungefär halvvägs inskruvat
3. Starta utrustningen enligt anvisningar
4. Tryck på röd knapp för att trycksättning
5. Dra nivåventilens hävarm något uppåt och justera vredet för gul krets, så att ett mottryck på 100 bar uppnås
6. Läs av värdena för samtliga kretsar och jämför med Tabell (för högt flöde i grön krets tyder på inre läckage)
7. Tryck nivåventilens hävarm nedåt och kontrollera att gul krets blir trycklös.
8. Tryck in blå knapp, varpå ventilen ställs om till långsam reglering och upprepa punkterna 5 - 7
9. Kontrollera nivåventilen med avseende på täthet

10. Stäng av huvudströmbrytaren och kontrollera att systemet blir trycklöst
11. Koppla loss testutrustningens slangar från nivåventilen

3.5.1.2 Test av solenoidventil

Solenoidventilen kan testas både som lös komponent på avsedd plats i testutrustningen, eller monterad i bilen efter det att dess röranslutningar lossats.

1. Anslut blå, gul och grön slang till solenoidventilen enligt schema
2. Anslut testutrustningens 12V-uttag till solenoidventilens elanslutningar
3. Starta utrustningen enligt anvisningar
4. Tryck på blå knapp för trycksättning
5. Läs av mätvärden och jämför med Tabell
6. Slå på 12V-uttagets strömbrytare
7. Kontrollera mätvärdena på nytt och jämför med Tabell
8. Kontrollera att läckage ej förekommer
9. Stäng av huvudströmbrytaren och kontrollera att systemet blir trycklöst
10. Koppla loss slangar och elanslutningar från solenoidventilen

3.5.1.3 Test av restriktorventil

En av de två restriktorventilerna sitter svåråtkomligt placerad i bilen och testas lämpligen som lös komponent på avsedd plats i testutrustningen.

1. Anslut röd respektive grön slang till restriktorventilens två anslutningar
2. Starta utrustningen enligt anvisningar
3. Tryck på röd knapp för trycksättning
4. Läs av värdena för röd och grön krets och jämför med Tabell
5. Kontrollera att läckage ej förekommer
6. Stäng av huvudströmbrytaren och kontrollera att systemet blir trycklöst
7. Koppla loss testutrustningens slangar från restriktorventilen

3.5.1.4 Test av hydraulcylinder

Observera att om testet utförs med lös komponent måste den först monteras med sina tre infästningspunkter mot avsedd hållare på testutrustningen.

1. Anslut röd respektive gul slang till hydraulcylinderns två anslutningar
2. Ställ in vredet för gul krets så att det är ungefär halvvägs inskruvat
3. Starta testutrustningen enligt anvisningar och tryck in röd knapp för att koppla på flödet
4. Justera mottrycket genom att vrida vredet för gul krets medurs och höj succesivt till fullt tryck
5. Låt trycket vara på någon minut och kontrollera att läckage ej förekommer
6. Stäng av huvudströmbrytaren och kontrollera att systemet blir trycklöst
7. Demontera slangarna

3.5.1.5 Test av hydraulpump i bil

Testet utförs med hydraulpumpen monterad i bilen.

1. Demontera pumpens tryckrör.
2. Montera gul slang på pumpens tryckanslutning.
3. Ställ in vredet för gul krets så att det är ungefär halvvägs inskruvat.
4. Kontrollera vätskenivån i bilens hydraulvätskebehållare.

5. Starta testutrustningen.
6. Starta bilens motor och läs av värdena för gul krets. Trycket kommer nu att arbeta sig uppåt till det värde tryckregulatorn är inställd på.
7. Kontrollera om pumpen har tillräcklig kapacitet vid maxtryck genom att vrida vredet för gul krets fullt medurs och läs av värdena. Jämför med Tabell.
8. Stäng av testutrustningen och kontrollera att systemet blir trycklöst.
9. Demontera gul slang från pumpen och sätt tillbaka tryckröret.
10. Fyll på hydraulvätskebehållaren.

3.5.1.6 Test av lös hydraulpump

Observera att hydraulpumpen har mycket dålig sugförmåga om den är tom på vätska, varför inloppet kan behöva fyllas på manuellt före test.

1. Demontera testutrustningens pump och ersätt denna med den som skall testas.
2. Montera gul slang på pumpens utloppssida.
3. Skruva fast pumpens tillopprör.
4. Ställ in vredet för gul krets så att det är ungefär halvvägs inskruvat.
5. Starta testutrustningen och läs av värdena för gul krets. Trycket kommer nu att arbeta sig uppåt till det värde tryckregulatorn är inställd på.
6. Kontrollera att pumpen har tillräcklig kapacitet vid maxtryck genom att vrida vredet för gul krets fullt medurs och läs av värdena. Jämför med Tabell.
7. Stäng av testutrustningen och kontrollera att systemet blir trycklöst.
8. Koppla loss gul slang och sätt tillbaka den ursprungliga pumpen.

3.5.1.7 Funktionskontroll av komplett nivåregleringssystem i bil

Hela nivåregleringssystemet kan provas på plats i bilen genom manuell funktionskontroll, på samma sätt som om motorn var igång. Test kan därmed göras på bil med exempelvis trasig hydraulpump, för att se om övriga nivåregleringssystemet fungerar normalt.

1. Demontera tryck- och returanslutningarna på vänstersidan av bilens bakre sub-frame (hjulupphängningsram) och täta röranslutningarna mot bilens övriga hydraulsystem med pluggar
2. Anslut röd slang till tryckledningen och grön slang till returledningen
3. Lossa kabelanslutningarna till solenoidventilen och koppla in den till testutrustningens 12V-uttag
4. Starta testutrustningen enligt anvisningar och tryck in röd knapp för att koppla på flödet. Systemet är nu igång och kan funktionstestas.
5. Aktivera snabb reglering genom att koppla på 12V-uttagets strömbrytare
6. Tyng ned bilens bakända och kontrollera att systemet omedelbart arbetar upp höjden till ursprunglig nivå
7. Koppla från 12V-uttagets strömbrytare och kontrollera att bilen långsamt arbetar upp höjden till ursprunglig nivå
8. Kontrollera att läckage ej förekommer
9. Stäng av huvudströmbrytaren och kontrollera att systemet blir trycklöst
10. Demontera slangarna och återmontera bilens hydraulanslutningar

3.5.2 Kostnadsanalys

Kostnaden för produkten framgår av Tabell 10 och bestäms till största delen av den mätutrustning som används. Utöver detta tillkommer arbetskostnad och övriga kostnader i form av slangar och kopplingar samt materialkostnad för skal och pumpinfästning. En tillverknings tid på 40 timmar är väl tilltagen med tanke på de olika detaljernas relativt enkla utformning men utgör en god beräkningsbas och den totala kostnaden uppgår till 99 350 SEK.

Tabell 10. Kostnadsberäkning.

Antal	Anm.	Pris/st. SEK	Totalt SEK
4	Flödesmätare SCFT-015-02-02	10460	41840
4	Tryckgivare SCP-XXX-74-02	2070	8280
8	Mätare	1270	10160
4	Ventil	550	2200
1	Motor Busck MY80A-4	1870	1870
1	Övriga utgifter	7000	7000
40	Arbetskostnad/timme	700	28000
			99350

3.6 Riskanalys

I Bilaga E framgår en riskanalys, en så kallad FMEA, där de olika komponenterna i testutrustningen analyserades ur användarperspektiv. Högst risktal, så kallat RPN-tal som tidigare beskrivits i kapitel 2.5, erhöll två punkter för ”Tryckslang lossar”, båda med 126 i RPN. Orsakerna är ”felaktigt monterad slang/mänskliga faktorn” samt ”dåliga/skadade gängor”. Som åtgärd föreslås att ett skydd monteras över trycksatta delar och att byta skadade delar.

4 Diskussion

I detta kapitel behandlas tankar, frågor och aspekter kring det genomförda arbetet.

4.1 Materialval, utformning och funktion

Kraven gällande tillverkning gör att materialvalet begränsas till att i huvudsak innefatta stål och aluminium, då det är dessa material som det inom företaget finns utrustning för att bearbeta. I en annan situation skulle alternativa material behöva beaktas. Även hur det vinnande konceptet är uppbyggt, till stor del med befintliga bildelar, hade varit lämpligt att revidera om tillverkning skulle ske i större skala. Främst är detta beroende på den begränsade tillgången på begagnade Rolls-Royce och Bentley-delar och att priset på nya delar är högt. Detta gäller i huvudsak pumpdrivningen.

Batteridrift som alternativ till fast elanslutning via kabel har tagits i beaktande men ansetts olämpligt i sammanhanget. Motoreffektsbehovet på 500 W skulle kräva ett relativt kraftigt batteri, vilket skulle göra utrustningen både tyngre, dyrare och mer komplicerad. Testapparaturen är dessutom avsedd att användas i verkstaden, där elanslutning finns tillgängligt. Fördelarna anses därför inte vara så stora att det överväger nackdelarna.

För att förenkla test av de olika hydraulikkomponenterna skulle testutrustningen kunna kompletteras med en datorstyrd programvara, exempelvis från National Instruments. Möjligheten finns då att låta programvaran styra testproceduren, samordna mätsignalerna och indikera om fel föreligger eller ej [20].

Tabellvärden för korrekt funktion hos de olika hydraulikkomponenterna som skall kunna testas finns ej specificerade, utan är något som får mätas upp och sammanställas då testutrustningen finns i fysisk form.

4.2 Säkerhet och arbetsmiljö

Den slutgiltiga produkten måste kunna klara de krav som ställs för en säker arbetsmiljö. I detta projekt skall dock ett koncept för en prototyp tas fram, med fokus på möjligheten att testa vissa komponenter, varför detaljerade säkerhetsåtgärder huvudsakligen blir en fråga för framtida arbete. Till följd av uppdragets avgränsningar har därför inte energi lagts på att studera direktiv, lagar och förordningar. Vid telefonintervju med Anders Nilsson, forskningsingenjör vid Högskolan Väst, framkom dock att testutrustningen omfattas av Arbetsmiljöverkets föreskrifter kring arbetsutrustning, maskiner och höga tryck, vilka måste följas enligt lag. Dessutom måste maskindirektivet uppfyllas. Skulle företaget komma att tillverka produkten för försäljning skulle även fullständig riskanalys och ett så kallat Certificate of Conformity behöva utföras [6]. Ett exempel på en lämplig säkerhetsåtgärd är att montera en fällbar skyddskåpa över ytan där komponenterna monteras för test.

4.3 Miljöaspekter

Användningen av den produkt som det framtagna konceptet är tänkt att leda fram till innebär flera miljövinster jämfört med hur nuvarande hydraulikfelsökning går till. Den mest uppenbara är att bilens nivåregleringssystem kan provköras med bilen avstängd. Då felsökningen ibland kan ta lång tid innebär användningen av testutrustningen kraftigt reducerade avgasutsläpp. Utrustningen ger även möjlighet till mer effektiv felsökning, vilket minskar energibehovet för att hålla hydraulsystemet i drift under tiden det testas. Ytterligare en positiv aspekt är återcirkulation av urluftad hydraulvätska, vilket i vissa fall kan leda till avsevärt minskad vätskeåtgång vid test av komponenter. Återcirkulation sker för närvarande inte alls vid felsökning.

Negativa miljöaspekter är bland annat materialen testutrustningen är tillverkad av, vilka vid framställning och bearbetning ger upphov till bland annat koldioxidutsläpp och negativt påverkad natur där materialen utvinns. Även produktens syfte att underlätta underhållet av gamla bilar med hög bränsleförbrukning kan diskuteras ur miljösynpunkt. Samtidigt vore det slöseri med brittisk ingenjörskonst, förstklassigt hantverk och högkvalitativa material att låta dessa bilar gå till spillo.

5 Slutsats

Metoden för arbetets genomförande har gett en logisk följd för de olika momenten. Uppgiftens omfattning gör att arbetet som sådant hade kunnat fördjupas ytterligare, med större tidsåtgång som följd. Examensarbetets tidsbegränsning på tio veckor gör dock att fördjupningsnivån på de olika moment som genomförts får anses tillräcklig och målet att ta fram ett koncept som kan ligga till grund för en prototyp anses uppfyllt. Kostnaden för produkten kan reduceras väsentligt om ett billigare alternativ till den föreslagna mätutrustningen kan hittas. Konceptet bedöms ha potential att kunna reducera tidsåtgången vid hydraulikfelsökning avsevärt, vilket var det grundläggande syftet. Detta möjliggörs främst genom att testutrustningen kan ge ett klart besked om en hydraulikkomponent fungerar eller ej. Möjligheten att kunna prova de flesta hydraulikkomponenterna utan att först demontera dem från bilen inverkar också positivt på tidsåtgången. Slutligen rekommenderas starkt att företaget satsar på konceptet, för att kunna erbjuda kostnadseffektiv hydraulikfelsökning och i slutänden få fler kunder att välja att reparera sin bils nivåregleringssystem hos Rohdins Automobile Service AB.

Referenser

- [1] Rolls-Royce motors Ltd, *Workshop Manual, TSD2476*. Pym's Lane, Crewe: The Technical Publications Department, 1968.
- [2] Saab-Ana Aktiebolag, *Saabkänslan, inifrån och ut*. Skövde: Idé & produktion Bennet & Jarnhammar Annonsbyrå, 1983.
- [3] L. Österling, "Citroën DS & ID 1955-75", *Svenska Citroënklubben*, 2016 [Online] Tillgänglig: <http://citroenklubben.se/medlem/citroen-ds-och-id/>. [Hämtad 20 april, 2016].
- [4] M. Rijkers, R. Wilde, "Introduction of the height control", *Rolls-Royce Silver Shadow*, 2016 [Online] Tillgänglig: <http://www.rrsilvershadow.com/ETechn/Hydr/Hoogteintro.htm>. [Hämtad 20 april, 2016].
- [5] M. Rijkers, R. Wilde, "Conjunction of the components of the height control system", *Rolls-Royce Silver Shadow*, 2016 [Online] Tillgänglig: <http://www.rrsilvershadow.com/ETechn/Hydr/Hoogtecomps.htm>. [Hämtad 20 april, 2016].
- [6] K. T. Ulrich, S. D. Eppinger, *Product Design And Development*. New York: McGrawhill-Hill Education, 2012.
- [7] B. Tonnquist, *Projektledning*. Stockholm: Sanoma Utbildning AB, 2014.
- [8] B. Bergman, B. Klefsjö, *Kvalitet från behov till användning*. Lund: Studentlitteratur AB, 2011.
- [9] A. Sikö, *Tillämpad ellära*. Lund: Studentlitteratur, 2006.
- [10] Küppers Elektromechanik GmbH, "Turbine Flow Meters", *Küppers Elektromechanik*, 2016 [Online] Tillgänglig: <http://www.floab.se//index.php/Image?file=208>. [Hämtad: 15 maj, 2016].
- [11] N. Kraus, A. Lohrmann, R. Cabrera, "New Acoustic Meter for Measuring 3D Laboratory Flows", *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 120, nr 3, s. 406-412, mars 1994 [Online] Tillgänglig: Asce Library, [http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1994\)120:3\(406\)#aHR0cDovL2FzY2VsaWJyYXJ5Lm9yZy9kb2kvcGRmLzEwLjEwNjEvKEFTQ0UpMDczMy05NDI5KDE5OTQpMTIwOjMoNDA2KUBAQDA](http://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/(ASCE)0733-9429(1994)120:3(406)#aHR0cDovL2FzY2VsaWJyYXJ5Lm9yZy9kb2kvcGRmLzEwLjEwNjEvKEFTQ0UpMDczMy05NDI5KDE5OTQpMTIwOjMoNDA2KUBAQDA=) =. [Hämtad: 8 maj, 2016].
- [12] J. Ö. Swahn, Red., *Bra böckers lexikon, del 6*. Höganäs: Bokförlaget Bra Böcker AB, 1974.
- [13] Ambiductor AB, "TDS-100F, Utanpåliggande flödesmätare med ultraljudsteknik", *Ambiductor Flow & Energy Analysis Systems*, 2016 [Online] Tillgänglig: <http://www.ambiductor.se/nedladdning/tds-100f/swedish?download=117>. [Hämtad: 16 maj, 2016].
- [14] Parker Hannifin Corporation, "Diagnostic Test Equipment for Hydraulics", *Parker Hannifin Corporation*, 2013. [Online] Tillgänglig: <http://www.parker.com/literature/Tube%20Fittings%20Division%20Europe/New/CAT-4054-3-UK.pdf>. [Hämtad: 20 maj, 2016].

- [15] Busck & Co AB, "1-fasmotorer", *Busck 1-fasmotorer*, 2016. [Online] Tillgänglig: <http://www.busck.se/wp-content/uploads/busck-1-fasmotorer-2015-2016.pdf>. [Hämtad: 15 maj, 2016].
- [16] Rautaruukki Corporation, "U-profile", *Rukeki, Building your tomorrow*, 2014. [Online] Tillgänglig: <http://www.ruukki.de/Stahl/Kaltgeformte-Stahlprofile/U-Profile>. [Hämtad: 15 maj, 2016].
- [17] Rautaruukki Corporation, "Ungleiche winkel", *Rukeki, Building your tomorrow*, 2014. [Online] Tillgänglig: <http://www.ruukki.de/Stahl/Kaltgeformte-Stahlprofile/Ungleiche-Winkel>. [Hämtad: 15 maj, 2016].
- [18] S. Lönnelid, R. Norberg, *Formelsamling för teknologi och konstruktion*, Upplaga 4. Stockholm: Stiftelsen Kompendieutgivningen, 1988.
- [19] E. Ullman, *Karlebo Materiallära*, Upplaga 14. Stockholm: Liber AB, 2003.
- [20] National Instruments Corporation, "Edge Computing for the Industrial Internet of Things", *National Instruments*, 2016. [Online] Tillgänglig: <http://www.ni.com/white-paper/52926/en/>. [Hämtad: 23 maj, 2016].

A: Beräkningar motoreffekt och kraft från hydraulcylinder

Beräkning motoreffekt:

$$1500 \text{ slag/min} = 25 \text{ slag/s}$$

$$\text{Slaglängd: } 13,3 \text{ mm}$$

$$\text{Ø Pumpkolv } 9 \text{ mm}$$

$$F_{\text{pumpkolv vid 200 bar}}: F = p \cdot A = 200 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,009}{2}\right)^2 = 1272,35 \text{ N}$$

$$\text{Arbete för pumpslag: } W = F \cdot s = 1272,35 \cdot \left(\frac{13,3}{1000}\right) = 16,92 \text{ J} = W_s$$

$$\text{Effekt: } P = \frac{\text{arbete}}{\text{tid}} = \frac{16,92}{\left(\frac{1}{25}\right)} = 423 \text{ W} \Rightarrow \text{Rek motoreffekt } \underline{500 \text{ W vid 1500 rpm}}$$

Beräkning max kraft från hydraulcylinder:

$$\text{Tryck: } 200 \text{ bar} = 2 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

$$\text{Kolvarea: } \pi r^2 = \pi \cdot \left(\frac{35}{2}\right)^2 \approx 962 \text{ mm}^2 = 9,62 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Kolv } \varnothing: 35 \text{ mm}$$

$$F = p \cdot A = 2 \cdot 10^7 \cdot 9,62 \cdot 10^{-4} = \underline{19240 \text{ N}}$$

Beräkning av lämpligt mottryck vid test av hydraulcylinder och nivåerstill:

Antas att belastningen per kvadrat meter vid viss last är $\frac{\text{bilens vikt}}{4} + 175 \text{ kg last} =$

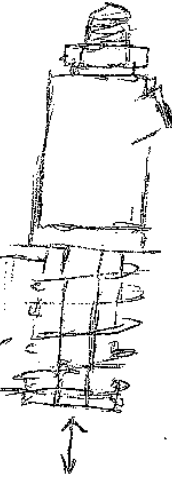
$$= \frac{2500}{4} + 175 = 800 \text{ kg} \Rightarrow F = 800 \cdot 9,81 = 7848 \text{ N}$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{7848}{9,62 \cdot 10^{-4}} = 81,58 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 81,58 \text{ bar} \approx \underline{80 \text{ bar}}$$

B: Varianter på pumpdrivning

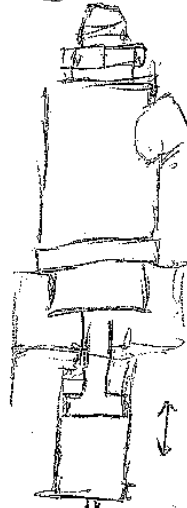
Varianter på drivsystem

A



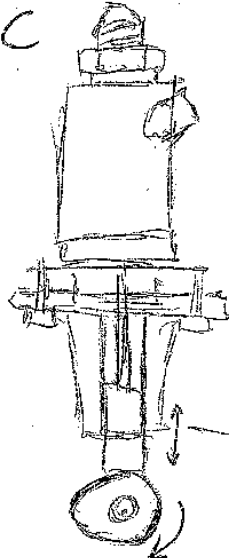
Elektromagnet
Styrsystem skickar ström av/på
återgång via pumpens fjäderkraft

B



Stopp/utlopp
luft stopp via ventill
Återgång via pumpens
fjäderkraft

C



Pumpdrivning som i bilen, fast
kommandering med elmotor

D: Beräkning av fäste för hydraulcylinder

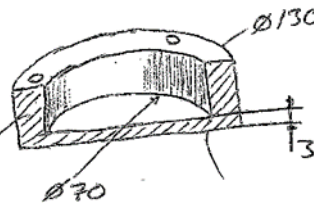
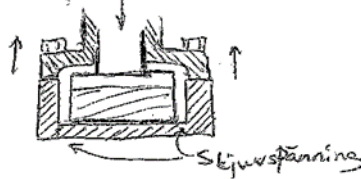
Hydraulcylinders hållare

Material: Aluminium SS4120-00 Hydraulcylinder = 20,19 kN

$$\sigma_s = 150 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Skjuvspänning } \tau_s = 0,6 \cdot \sigma_s$$

$$\tau_s = 150 \cdot 0,6 = 90 \text{ N/mm}^2$$



$$\text{Skjuvarea} = 70 \cdot \pi \cdot 3 = 659,9 \text{ mm}^2$$

Dragspänning i sidorna

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{20190}{65^2 \cdot \pi - 35^2 \cdot \pi} = 2,14 \text{ N/mm}^2$$

Extremt lågt. Överdimensionering pga hydraulcylinders form

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{20190}{70 \cdot \pi \cdot 3} = 30,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Säkerhetsfaktor} = \frac{90}{30,6} = 2,94$$

E: FMEA

Design-FMEA

Process-FMEA

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

Page ()

Scale: 1-5 1-10

Customer	Project group Andreas Lund	Detail name Hydrauliktestutrustning	Detail number
Project leader	Date 2016-05-20	Follow-up-date	Observation / Remark

Item	Part No Name Issue	Function or process	Failure mode	Effect of failure	Cause of failure	Current controls	O	S	D	R	Recomm. corrective action	Action by	Action taken	O	S	D	R
							C	E	E	P				C	V	T	C
							(Po)	(S)	(Pd)	PN							
	Mätare	Användning /Komponent -test	Mätaren visar fel	Felaktigt mätresultat	Smuts i hydraulvätskan	Utv. okulär- kontroll	1	5	7	35	Byt/ kontrollera hydraul- vätskan						
	"	"	"	"	"	"	1	5	7	35	Montera filter						
	"	"	"	"	Felaktigt kalibrerade mätare	"	1	5	8	40	Kalibrera mätare						
	"	"	"	"	Läckage	"	2	7	2	28	Kontrollera anslutning- arnas åtdragnings- moment						
	Tryck- slangar	"	Slang lossar	"	Felaktigt monterad anslutning/mänskliga faktorn	"	2	9	7	126	Montera skydd/byt delar						
	"	"	"	"	Dåliga/skadade gängor	"	2	9	7	126	"						
	"	"	"	"	Materialfel	"	1	9	7	63	"						
	"	"	Slang felkopplad	Felaktigt mätresultat/ testad komponent kan skadas	Mänskliga faktorn	"	3	6	5	90	Kontrollera färg- kodning						
	Ventil hus	"	För högt tryck	"	Kärv tryckventil	"	1	9	9	81	Kontroll- mät systemtryck						
	"	"	För lågt tryck	Felaktigt mätresultat	Utmattad fjäder i tryck- ventil	"	1	5	9	45	"						
	Tryck- ackum- ulator	"	Låg flödeskapacitet	"	Lågt gastryck i ackumulator	"	2	6	5	60	Kontroll- mät gastryck						
	"	"	"	"	Läckage	"	2	6	5	60	"						
	Pump	"	"	"	Slitage	"	1	5	7	35	Kontrollera pump						
	"	"	"	"	Läckage	"	2	8	4	64	"						
	"	"	"	"	Kärvning	"	1	5	7	35	"						
	"	"	"	"	Smuts i hydraulvätskan	"	1	5	7	35	Byt vätska						

Utveckling av hydrauliktestutrustningskoncept för Rolls-Royce och Bentley

Stötstäng	"	"	"	Brusten stötstäng	"	1	5	7	35	Byt stötstäng, kontrollera pump								
"	"	"	"	Kärvande stötstäng	"	1	4	7	28	Kontrollera stötstäng och lyftare								
Motor	"	"	"	Slitage	"	1	5	7	35	Kontrollera ev. justera gjutprocess								
"	"	"	"	Defekt startkondensator	"	1	6	8	48	Kontrollera /byt startkondensator								