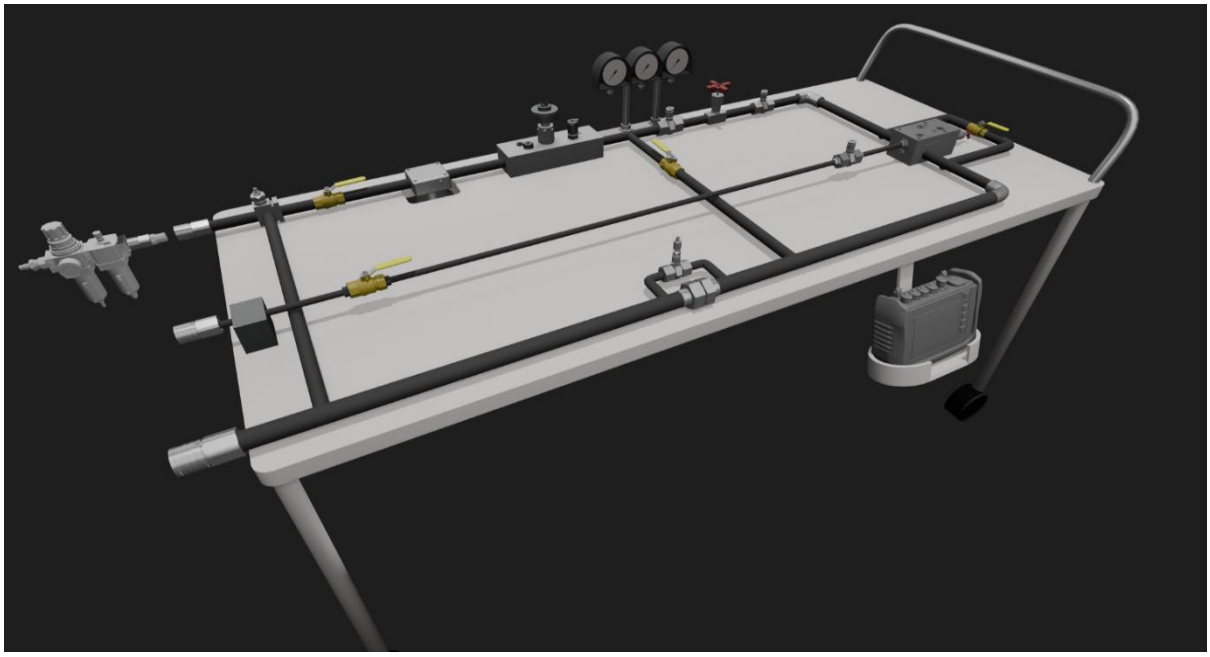


Utveckling av en industriell testrigg för provning och analys av lastbilars hydraulsystem

Examensarbete inom högskolsprogrammet Mekatronik

Wael Salem

Sami Zeynu

INSTITUTION FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GÖTEBORG 2026

www.chalmers.se

Utveckling av en industriell testrigg för provning och analys av lastbilars hydraulsystem

© WAEL SALEM, SAMI ZEYNU 2026

Handledare: Sefedin Rexhaj, Volvo Lastvagnar AB

Examinator: Peter Hammersberg, Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Examensarbete 2026
Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000



Institutionen för Industri- och Materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg 2026

Utveckling av en industriell testrigg för provning och analys av lastbilars hydraulsystem

WAEL SALEM, SAMI ZEYNU
Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Denna examensrapport beskriver design och utveckling av en testrigg för hydraulsystem tillhörande större utrustning som är monterad på lastbilar. Projektet som ligger till grund för rapporten är ett examensarbete omfattande 15 högskolepoäng och har genomförts med handledning och stöd från Institutionen för industri- och materialvetenskap vid Chalmers tekniska högskola. Projektet utfördes på uppdrag av Volvo Trucks.

Hydrauliska system har en central betydelse inom flera industrisektorer, där de möjliggör funktioner såsom lyft av tunga laster, kraftöverföring över längre avstånd och precis styrning av mekaniska rörelser. För att upprätthålla höga krav på kvalitet och säkerhet krävs därför att hydraulsystem levererar avsedd effekt med hög noggrannhet och bibehåller driftsäkerhet över tid. Mot denna bakgrund efterfrågade Volvo Trucks förbättrade metoder för provning av hydraulisk utrustning i takt med att kundkrav och användningsfall utvecklas.

Den befintliga testutrustningen bedömdes vara förenklad och sakna tillräcklig tillförlitlighet samt viktiga provningsfunktioner, särskilt avseende möjligheten att mäta relevanta parametrar vid test av system med variabel deplacementpump. Detta kan medföra risk för produktionsförseningar och kvalitetsbrister. Projektets syfte, genomfört i samarbete med Volvo Trucks Customer Adaptations avdelning (CA), var därför att ta fram en specialiserad testrigg som möjliggör provning av lastbilsmonterade hydraulsystem och samtidigt tillhandahåller mätning av flöde och tryck samtidigt för system med både fast och variabel deplacementpump.

Inom ramen för arbetet konceptualiserades en ny provningsmetod och ett riggkoncept utvecklades. Den föreslagna lösningen är utformad för att kunna reglera och hantera flöde och tryck i riggen, vilket ger förutsättningar att testa, mäta och analysera hydraulsystemets respons, med särskilt fokus på system utrustade med variabel deplacementpump och deras beteende vid förändringar i flödes och trycknivåer.

Rapporten är skriven på svenska.

Nyckelord: Testrigg, variabel deplacementpump, Lastkännande-tryck, Ventiler

Development of an industrial test rig for testing and analysis of truck hydraulic systems

WAEL SALEM, SAMI ZEYNU
Department of Industrial and Materials Science
Chalmers University of Technology

Abstract

This thesis report explains the design and development of a testing rig for large equipment hydraulic systems that are mounted on trucks. The project tied to this report is a bachelor thesis worth 15 credits and done under the guidance of the Department of Industrial and Materials Science at Chalmers University of Technology and in collaboration with Volvo Trucks.

Hydraulic systems play a fundamental role across numerous industries by enabling functions such as lifting heavy loads, transmitting power over long distances, and providing precise control of mechanical motion. To uphold quality and safety requirements, hydraulic systems must therefore deliver power with high accuracy and maintain reliable performance over time. Against this background, Volvo Trucks sought improved methods for testing hydraulic equipment in response to evolving customer requirements and application demands.

The existing testing solution was assessed as overly simplistic and insufficiently reliable, and it lacked key test capabilities, particularly the ability to measure relevant parameters when evaluating truck-mounted systems equipped with variable displacement pumps. These limitations can contribute to production delays and quality risks. In collaboration with Volvo Trucks Customer Adaptations department (CA), this project aimed to address these shortcomings by developing a dedicated test rig capable of testing truck mounted hydraulic systems while measuring flow rate and pressure simultaneously for configurations using both fixed-displacement and variable-displacement pumps.

A new testing approach was conceptualized and translated into a rig design intended to enable controlled management of flow and pressure within the test setup. The proposed concept provides the basis for testing, measuring, and analyzing system behavior, with particular emphasis on how hydraulic systems with variable displacement pumps respond to changes in flow demand and pressure levels.

The report is written in Swedish.

Keywords: Test rigg, variable-displacement pump, Load-Sensing pressure, valves

Innehållsförteckning

1 Inledning 1

1.1 Bakgrund 1

1.2 Existerande testrigg 1

1.3 Syfte 3

1.4 Mål 3

1.5 Kravspecifikation 3

1.6 Avgränsningar 4

1.7 Frågeställningar 5

2 Teori 6

2.1 Vad är ett hydralsystem? 6

2.2 Typer av hydralsystem beroende på pumpar 7

2.2.1 Fast deplacementpumpar 7

2.2.2 Variabel deplacementpumpar 8

2.2.3 Särskilt fokus: förstå LS-signal (lastkännande tryck) 9

2.3 Översikt av komponenter i hydraulsystem 10

2.3.1 Ventiler 10

2.3.1.1 Flödesriktningsventiler 10

2.3.1.2 Tryckregleringsventiler 11

2.3.1.3 Flödeskontrollventiler 12

2.3.2 Sensorer/Mätare 13

2.3.3 Slangar och Rörledning 14

2.3.4 Filter 14

3 Metod 15

3.1 Konceptutveckling 15

3.2 Jämförelse av komponenter med liknande uppgift 16

3.3 Testriggens valda komponenter 16

3.4 Test med simulering 20

3.4.1 Programvaran och miljö 20
3.4.2 Simuleringsmetod och hantering av LS-tryckmätning 21
3.5 Genomförande utan intern testutrustning 21

4 Resultat 23
4.1 Hur fungerar det konceptuella testriggen 23
4.1.1 Mätproceduren och dokumentation 24
4.2 Analys och bedömningar 24
4.2.1 Hantering av hydrauloljetyper och begränsning av oljeinblandning 24

5 Diskussion 25

6 Slutsats 26

Litteraturförteckning 27

Bilagor 29

1.Inledning

1.1 Bakgrund

Volvo Trucks avdelning för Customer Adaptation Engineering (CA) har tilldelat uppgiften att utforma en testrigg för hydrauliska system som används i företagets lastbilar. Avdelningen ansvarar för att anpassa fordonen efter kundernas specifika behov, vilket ofta innebär montering av kraftiga maskiner såsom kranar, växlare, krokar och plogar. Dessa maskiner drivs av hydrauliksystem som kan vara utrustade med fasta pumpar, dubbelflödespumpar eller variabla pumpar.

För att uppfylla dessa behov är det av avgörande betydelse för företaget att kontrollera och verifiera att det hydrauliska system som levereras till kunderna är fullt funktionsdugligt och uppfyller de önskade prestandakraven. Detta kritiska steg ledde till att företaget tog fram en förenklad testrigg för att möjliggöra dessa kontroller. Den framtagna riggen hade emellertid vissa begränsningar som behövde åtgärdas.

1.2 Existerande testrigg

Den testrigg som användes består av ett enda ventilblock avsett för ett lastkännande hydrauliksystem. Huvudfunktionen hos ventilblocket är att samla, styra och reglera oljeflödet genom inbyggda ventiler. Fördelen med denna konstruktion är att tryck och flöde kan hanteras inom en kompakt och stabil enhet, vilket minskar behovet av externa kopplingar och slangar. Därmed minskar även risken för oljeläckage som kan orsakas av vibrationer under testning, samt risken för smutsbildning i slangarna som i sin tur kan påverka tryck och flöde negativt.

Nackdelen dock med den riggen är att den huvudsakligen är konstruerad för att testa LS-tryckets signal till pumpen. Detta innebär att testningen begränsas till lastbilar med variabel pump.

För fasta och dubbelflödespumpar sker testet i stället genom att man aktiverar utrustningens funktioner från viloläge till max läge och mäta trycket i dessa två lägen med en enkel extern mätanordning samt observeras eventuella fel i rörelser eller funktioner under drift.

Ett återkommande problem vid testning är svårigheten att exakt mäta trycket i vissa funktioner. Testet bekräftar ofta enbart att olja och tryck flödar genom slangar och cylindrar, men inte om kraften som genereras är tillräcklig. Detta gäller särskilt för utrustningar som drivs av fasta eller dubbelflödespumpar. I dessa fall bedöms funktionen genom att observera om slangarna reagerar vid pumpens aktivering.

Den här metoden innebär en risk då kunden kan får en produkt som inte levererar önskad kraft. Följden kan bli att produkten måste återkallas för justering eller, i värsta fall, reparation vilket ökar kostnader och förseningar.

Dessutom finns det en annan utmaning gäller testet för LS-tryck. För att kunna mäta detta måste en last simuleras genom att blockera oljeflödet, vilket orsakar att trycket stiger i ventilblocket. LS-linjen registrerar denna tryckökning som en förändring i lasten och skickar då en signal till pumpen att öka oljeflödet för att balansera trycket. Denna metod skapar dock en säkerhetsrisk, eftersom det ökade trycket och den stillastående oljan kan orsaka slitage på komponenter och en snabb temperaturhöjning i systemet.

Av säkerhetsskäl måste därför testet för LS-trycket utföras i korta intervaller, där trycket från pumpen endast höjs för en kort stund för att undvika överhettning och skador. Detta begränsar samtidigt möjligheten att mäta flödet under testningen med den riggen.



Figur.1 Det befintliga Ventilblocket som användes för LS-signaltestning

1.3 Syfte

Syftet med projektet är att utveckla en testrigg som kan mäta och analysera de tryck som uppstår i dessa olika typer av hydraulsystem. De tryck som ska kunna mätas är arbetstryck, pumptryck samt LS-tryck (Load Sensing, även kallat lastkännande tryck), vilket är specifikt för system med variabel pump. Riggen ska även kunna mäta flödet av hydraulolja till och från systemet när dessa tryck uppstår.

1.4 Mål

Målet med uppdraget är att vid projektets avslut ta fram och leverera ett fungerande koncept av riggen, inklusive dess design och ritningar, komponentlista samt mätmetod.

1.5 Kravspecifikation

För att den nya testriggen ska kunna användas effektivt och säkert i testmiljö krävs att ett antal tekniska och praktiska krav uppfylls. Dessa krav baseras på både befintlig kunskap och behov som identifierats av tekniker och ingenjörer vid CA avdelningen.

- **Kompatibilitet med olika hydrauliksystem**:
  Riggen ska kunna användas för att testa system med fasta pumpar, dubbelflödespumpar samt variabla pumpar.

- **Mätning av flera trycktyper:**
  Systemet ska kunna mäta pumptryck, arbetstryck och LS-tryck (lastkännande tryck) där detta är tillämpligt. Trycket ska inte överskrida 350 bar.

- **Mätning av flöde:**
  Riggen ska kunna mäta hastigheten av hydrauloljan som flödar till och från systemet vid olika belastningsnivåer.

- **Säkerhet vid trycktestning:**
  Tryck ska kunna testas utan att oljeflödet blockeras helt. Det kräver en metod som simulerar last på ett kontrollerat sätt utan att orsaka risk för skador, överhettning eller förbränning av oljan.

- **Enkel användning och omkoppling:**
  Riggen ska vara konstruerad så att test av olika hydrauliskt system kan genomföras utan omfattande omkopplingar. Konstruktionen bör vara flexibel för att förenkla användning och underhåll.

- **Noggrannhet och tillförlitlighet:**
  Mätinstrument och sensorer ska ha tillräcklig precision för att ge stabila resultat vid upprepade tester.

- **Manövrerbarhet:**
  Riggen ska vara lätt att manövrera och kunna flyttas smidigt mellan olika teststationer.

1.6 Avgränsningar

Ett antal begränsningar sätts in för att ge projektet ett tydligare fokus. Dessa syftar till att undvika att utsträcka sig för mycket och koncentrera resurserna på projektets primära mål.

Ingen verifiering mot faktisk kunddrift

Testriggen verifieras i testmiljö och jämförs inte med data från faktisk drift hos kund.

Som ett resultat kommer projektet att begränsas till att utveckla den fysiska testriggen och dess förmåga att mäta tryck och flöde i olika typer av hydrauliksystem.

- **Fokus på kranapplikation**
  Även om lastbilar kan vara utrustade med flera typer av hydrauliska funktioner begränsas projektet till system som används för kranar.

- **Ingen verifiering mot faktisk kunddrift.**
  Testriggen verifieras i testmiljö och jämförs inte med data från faktisk drift hos kund.

- **Manuell testning – ingen automatisering**
  Projektet omfattar inte utveckling av ett automatiserat testförfarande eller styrsystem. Testerna utförs manuellt med hjälp av ventiler och mätinstrument.

1.7 Frågeställningar

I den inledande delen av projektet identifierades centrala frågeställningar för att fastställa hur olika hydrauliksystem kan testas samt för att definiera begränsningarna i den befintliga testriggen:

- På vilket sätt kan testriggen modifieras för att möjliggöra testning av lastbilars hydraulsystem med samtliga pumptyper utan omfattande omkopplingsarbete?
- Vilka säkerhetsåtgärder krävs för att kunna mäta LS-tryck på ett säkert sätt, utan risk för skador på komponenter eller överhettning av hydrauloljan?
- I vilken utsträckning kan en testrigg med LS-styrd koppling användas i system med fasta eller dubbelflödespumpar?

2. Teori

I detta kapitel presenteras den teoretiska bakgrunden till projektet. Inledningsvis beskrivs principerna för hydrauliska system samt de olika systemtyper som förekommer beroende på vald pumptyp och hur dessa skiljer sig åt. Vidare behandlas även de olika tryck som uppstår i systemet.

2.1 Vad är ett hydralsystem

Hydraulik är en av de mest etablerade och frekvent använda teknikerna inom industrin. Hydrauliska system möjliggör kraftöverföring genom att en hydraulvätska sätts under tryck och leds mellan slutna volymer, vilket ger möjlighet att generera och styra både kraft och rörelse. Hydraulik kan därmed beskrivas som en ingenjörsteknik där trycksatt vätska utnyttjas för att åstadkomma mekaniskt arbete.

Tekniken är särskilt användbar i applikationer där hög krafttäthet, driftsäkerhet och noggrann reglerbarhet är avgörande. Hydrauliska system utgör därför en viktig del av den moderna industrin och återfinns inom ett brett spektrum av användningsområden, exempelvis i lyft- och anläggningsmaskiner såsom kranar och grävmaskiner samt i fordonssystem, däribland bromssystem. Genom att möjliggöra stora krafter och en jämn, kontrollerad rörelse kan hydraulik effektivisera arbetsmoment och samtidigt minska behovet av manuellt kraftarbete.[1][2].

Hydraulsystemens grundläggande verkningsprincip kan härledas till Pascals princip (Pascals lag), vilken anger att en tryckförändring som appliceras på en innesluten vätska överförs oförminskad till samtliga delar av vätskan samt till behållarens väggar. Detta kan förklaras av att vätskans partiklar i en sluten volym är fria att röra sig och därmed förmedlar trycket genom hela mediet. En direkt konsekvens är att varje tryckökning eller tryckminskning överförs utan dämpning. Pascals princip innebär dessutom att det totala trycket i vätskan kan betraktas som summan av de enskilda tryckbidragen från olika påverkningskällor.[3]

2.2 Typer av hydralsystem beroende på pumpar

Här kommer en översikt där fokus ligger på hur pumparna fungerar, var de används och vilka för- och nackdelar de har.

Pumpar kan delas in i två huvudkategorier nämligen fast deplacementpumpar, som levererar samma volym per varv, och variabla deplacementpumpar, där den pumpade volymen per varv kan justeras. Valet av pump har en direkt inverkan på hur det övergripande hydraulsystemet utformas.[4]

2.2.1 Fast deplacementpump

Ett hydrauliskt system med fast deplacementpump (”fast pump”) kännetecknas av att pumpen i stort sett levererar samma oljeflöde per varv. Flödet Q är proportionellt mot pumpens deplacement D och varvtal n, alltså $Q = D * n$. Vid konstant motorvarvtal erhålls därför ett nästintill konstant flöde, medan systemtrycket bestäms av det motstånd som uppstår i systemet, exempelvis från lasten, eventuella strypningar och rörförluster. Eftersom pumpen vid ett givet varvtal levererar ett i huvudsak konstant flöde måste ett eventuellt överskott hanteras genom avledning via ventiler, vanligtvis med en tryckbegränsningsventil eller avlastningsventil (reliefventil) som återför oljan till tanken. Denna reglerprincip medför energiförluster i form av värmeutveckling, men resulterar samtidigt i en relativt enkel systemarkitektur. System med denna typ av pump är generellt enkla, robusta och kostnadseffektiva, men kännetecknas ofta av lägre energieffektivitet och ökad energiförbrukning eftersom pumpen kontinuerligt levererar flöde även när det inte efterfrågas.

En mer avancerad form av en fast deplacementpump är en dubbelflödespump. Ett hydrauliskt system med dubbelflödespump är uppbyggt kring en pump som i praktiken består av två fastdeplacementpumpar placerade i ett gemensamt hus och drivna av samma axel. Konstruktionen utgörs av två separata pumpsatser som är hydrauliskt oberoende men ofta delar samma sugsida [5]. Ett sådant system kan antingen användas för att försörja två separata hydraul kretsar med respektive flöde eller för att slå samman flödena för att uppnå ett högre totalflöde, till exempel för snabbare rörelser, och därefter koppla bort en av sektionerna vid högre belastning i en så kallad hi/low-krets. [6]

HPx-Fxx	HPE-F41 HPM-F41* HPG-F41*	HPE-F51 HPM-F51* HPG-F51*	HPE-F61 HPM-F61* HPG-F61*	HPE-F81 HPM-F81* HPG-F81*	HPE-F101 HPM-F101* HPG-F101*
Displacement [cm^3/rev]	40,9	51,1	59,5	81,6	102,9
Max flow [l/min]	98	112	131	163	185
Suction connection [Ø]	2.5" (63 mm)	2.5" (63 mm)	2.5" (63 mm)	2.5" (63 mm)	2.5" (63 mm)
Max operating pressure [bar]	400	400	400	400	400
Max rpm, without load	2700 rpm	2700 rpm	2700 rpm	2300 rpm	2300 rpm
Max self-suction revs @ 350 bar	2400 rpm	2200 rpm	2200 rpm	2000 rpm	1800 rpm
Max self-suction revs @ 400 bar	2100 rpm	1900 rpm	1900 rpm	1750 rpm	1550 rpm
Max input power, short term [kW]	57	66	76	95	108
Input power, continuous [kW]	46	52	61	76	86
Weight [kg]	12,7 (9,2*)	12,7 (9,2*)	12,7 (9,2*)	16,7 (13,2*)	16,7 (13,2*)

Figur 2.1. Tabell på fastapumpars mått

De olika varianterna av fasta pumpar som Volvos lastbilar använder visas i tabellen ovan med tillhörande mått. [10]

2.2.2 Variabel deplacementpump

Ett hydrauliskt system med variabel deplacementpump innebär att pumpens geometriska deplacement kan justeras under drift, vanligtvis genom en svängskiva i en axiellkolvpump eller via ändrad excentricitet i en vingpump. Genom att ändra deplacementet kan flödet varieras utan att oljan behöver strypas i ventiler, vilket gör det möjligt att anpassa flödet efter belastningen, exempelvis med lastavkännande (LS) styrning. Det är mer avancerade och kostsam men ger betydligt bättre energieffektivitet och kontroll, särskilt i maskiner med många funktioner.

HPx-Vxx	HPE-V45	HPE-V75	HPE-V95	HPE-V130
			HPG-V95*	HPG-V130*
	HPM-V45	HPM-V75	HPM-V95*	HPM-V130*
Displacement [cm³/rev]	45	75	95	128
Max flow [l/min]	99	128	209	243
Suction connection [Ø]	2" (50 mm)	2" (50 mm)	3" (75 mm)	3" (75 mm)
Max operating pressure [bar]	400	400	420	420
Operating pressure, continuous [bar]	350	350	400	400
Max rpm, without load	2600 rpm	2600 rpm	3000 rpm	3000 rpm
Max self-suction revs @ 400 bar	2200 rpm	1700 rpm	2200 rpm (@420 bar)	1900 rpm
Max input power, short term [kW]	70	85	146	170
Input power, continuous [kW]	60	75	140	162
Weight [kg]	29,6	29,6	32,1 (30,5*)	32,1 (30,5*)

Figur 2.2. Tabell för variablapumpars mått

De olika varianterna av variabla pumpar som Volvos lastbilar använder visas i figuren ovan med tillhörande mått.

2.2.3 Särskilt fokus: förstå LS-signal (lastkännande tryck)

I ett lastkännande (LS) system med variabel deplacementpump skickar LS-linjen det högsta lasttrycket som en signal tillbaka till pumpens regulator, och pumpen strävar efter att hålla

$$P_{pump} \approx P_{LS} + \Delta p_{margin} \text{ çè } \Delta p_{margin} \approx P_{pump} - P_{LS}$$

där Δp_{margin} typiskt ligger i intervallet 10–30 bar [7]. Skillnaden mellan LS signal och pumptrycket bör vara ungefär konstant (marginaltrycket). I ett välfungerande LS-system är LS-linjen nära 0 bar när ingen funktion är aktiv, och pumpen ligger då på ett lågt standby-tryck (ofta omkring 20–30 bar beroende på konstruktion). När till exempel en kran lyfts stiger lasttrycket, exempelvis till cirka 120 bar, varvid LS-manometern visar ungefär 120 bar och pumpmanometern stiger till omkring 140–150 bar (lasttrycket plus marginalen), vilket medför ökat flöde så att kranen kan röra sig. Vid full belastning, då kranen når maximal läge, kan LS-trycket närma sig systemets maxtryck (till exempel 220 bar), medan pumptrycket då

typiskt ligger omkring 240–250 bar, fortfarande med en marginell nivå ovanför LS-trycket; en tryckbegränsningsventil eller en avlastningsventil kan då öppna om LS-pumpen dessutom är begränsad av ett tryckavslag.

I system med fast deplacementpump saknas LS-linje. I sådana fall kan LS-porten antingen saknas eller vara oanvänd (0 bar) eller internt kopplad till pumptrycket, vilket innebär att LS-trycket sammanfaller med pumptrycket. Testriggen fungerar i princip på samma sätt, men i ett system utan LS-funktion kommer LS-manometern inte att uppvisa den typiska LS-marginalkaraktäristiken.

2.3 Översikt av komponenter i hydraulsystem

För att kunna förstå projektets helhetslösning krävs kännedom om de vanligaste komponenterna i ett hydraulsystem. Detta avsnitt redogör därför för vilka delar som typiskt ingår i ett hydraulsystem samt beskriver deras funktion och verkningssätt. Utifrån deras roll i det aktuella projektet, som är inriktat på mätning av tryck och flöde, kan komponenterna grupperas i fyra huvudkategorier.

- **Ventiler**
- **Sensorer**
- **Slangar**
- **Filter**

2.3.1 Ventiler

Hydraul ventiler är ofta enklast att förstå genom att utgå från vad de reglerar i systemet, nämligen flödesriktning, trycket i olika delar av kretsen samt flödeshastigheten, vilket i sin tur påverkar cylindrarnas hastighet.

2.3.1.1 Flödesriktningsventiler

Den typen av ventiler styr oljeflödet genom att leda hydrauloljan till olika ledningar, vilket gör det möjligt för en cylinder att starta, stanna, ändra rörelseriktning samt bestämma hur rörelsen byggs upp eller bromsas [8].

Baserad på deras interna konstruktioner kan de vanligtvis delas in i två huvudkategorier: sätesventiler (tallriksventiler) och kulventiler.

Sätesventiler utmärker sig genom mycket god täthet, i vissa fall i princip utan läckage, eftersom tätningen sker i kontakten mellan säte och ventilkropp. Kulventiler fungerar på liknande sätt som sätesventiler men använder en kula som tätande element i stället för en tallrik.

De är också Klassificerad efter antal portar och positioner. Dessa klassificering visas i standarden ISO 1219 för grafiska symboler och kretsscheman.

Ett exempel:

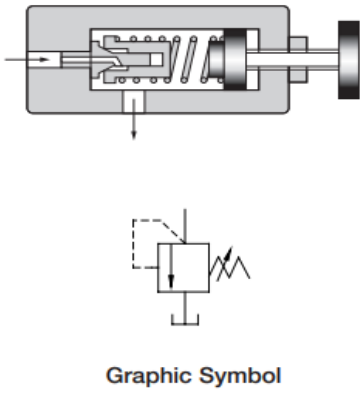
Backventil (icke-returventil): Tillåter flöde i en riktning och blockerar flöde i motsatt riktning. Som funktion förhindrar den återflöde samt bibehåller tryck i delar av en krets.

2.3.1.2 Tryckregleringsventiler

Tryckregleringsventiler håller systemet säkert och kretsen i rätt trycknivå. De används för att begränsa trycket och förhindra övertryck, som kan uppstå när en cylinder belastas hårt eller när en ventil stängs, vilket blockerar flödet. Ventiler delas in i grupper beroende på typen av styrning som söks.

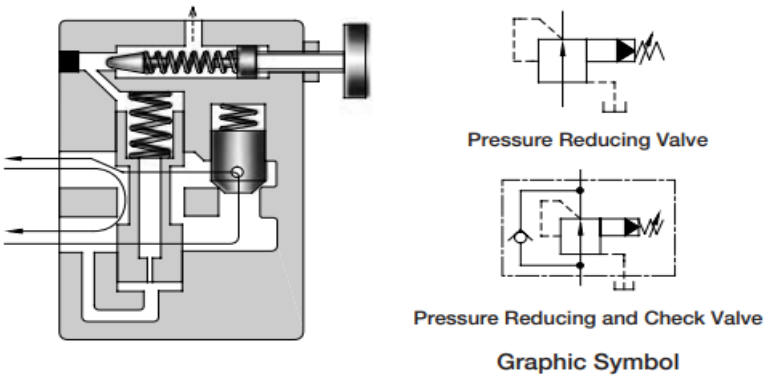
Några exempel:

Avlastningsventil: är en av de mest använda tryckreglerande ventilerna och återfinns i princip i alla hydraulsystem. Ventilen är normalt stängd och har som uppgift att avlasta systemet genom att begränsa trycket till ett förutbestämt maximivärde, vanligtvis genom att leda en del av pumpflödet tillbaka till tank. Inne i ventilen hålls en säteskropp (poppet) mot sitt säte med hjälp av en kraftig tryckfjäder. När systemtrycket stiger tillräckligt mycket blir den hydrauliska kraften på den kolvformade poppeten större än fjäderkraften, därpå poppeten lyfts från sätet och ventilen öppnar för att avlasta trycket.



Figur 2.3. Ett diagram av en Avlastningsventil (hämtad från Yuken Kogyo co., Ltd.)

Tryckbegränsningsventil: är en typ av tryckreglerventil som normalt är stängd och används för att upprätthålla ett lägre, begränsat tryck i utvalda delar av ett hydraulsystem. Ventilen påverkas av trycket på nedströmssidan (utloppet) och sköta att stänga när detta tryck närmar sig det inställda värdet. Oftast är den kopplad till en backventil så att det kommer att ge bättre kontroll och skydd mot oljans flöde bakåt.



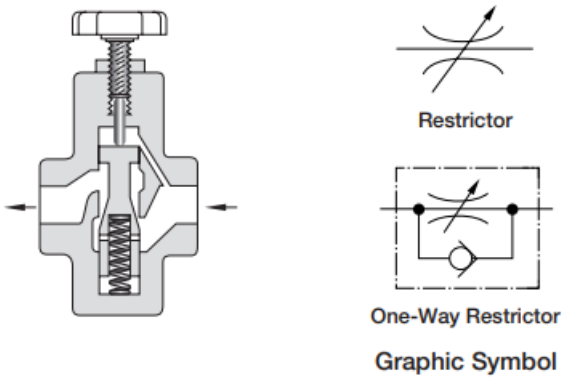
Figur 2.4. En bild som visar diagram, skiss av en tryckbegränsningsventil (hämtad från Yuken Kogyo co., Ltd.)

2.3.1.3 Flödeskontrollventiler

Dessa ventiler reglerar flödeshastigheten i hydrauliska kretsar. De används främst för att kontrollera cylindrars rörelsehastighet, eftersom denna i direkt grad bestäms av det hydrauliska flödet.

Ett exempel för flödeskontrollventil:

Strypventil: Strypventil såsom nålventiler skapar en strypning (en mindre öppning). Om tryckfallet över strypningen ändras, förändras flödet. De har en okomplicerad uppbyggnad, är enkla att hantera och kan justeras inom ett relativt stort område. Ventilerna används främst där tryckfallet ändras och där kraven på reglernoggrannhet är begränsade eftersom flödet även vid en given strypning påverkas av tryckfallet mellan inlopp och utlopp. Envägs strypventiler stryper flödet i ena riktningen, men möjliggör fritt flöde i den motsatta riktningen.



Figur 2.5. Strypventil (hämtad från Yuken Kogyo co., Ltd.)

2.3.2 CAN Sensorer/Mätare

För detta projekt krävs det 3 olika mätare nämligen Tryckmätare och tryck sensorer, Flödesmätare och Temperatursensorer.

Trycksensorer är de mest förekommande sensorerna inom hydraulik och mäter trycket i olika delar av systemet, exempelvis i ledningar vid pumpens utlopp, vid cylindrars portar samt i lastkännande (LS) ledningar. De används bland annat för att uppskatta kraft.

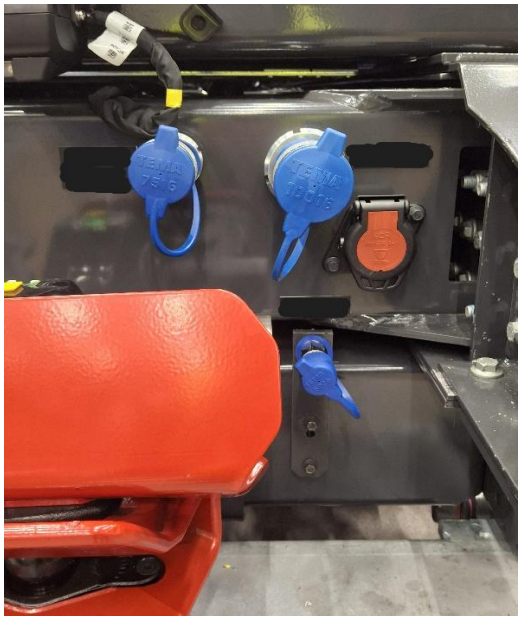
Flödesmätare används bland annat för att övervaka rörelsehastighet, genomföra diagnostik och bedöma systemets effektivitet. De mäter det oljeflödet i ledningen, ofta i pumpens matning eller i en gren som försörjer en cylinder. Informationen kan därefter användas för

hastighetsberäkningar och analys, för att upptäcka tecken på pumpslitage eller interna läckage samt för att verifiera att hydraulsystemet uppfyller avsedd prestanda.

Temperatursensorer är viktiga inom hydraulik eftersom oljans temperatur har stor påverkan på systemets funktion. De mäter exempelvis oljetemperaturen i reservoaren, temperaturen i returledningen eller dräneringstemperaturen i komponenthuset. Mätvärdena används för att skydda komponenter mot överhettning, följa förändringar i oljans viskositet samt för att identifiera och diagnostisera energiförluster i systemet.

2.3.3 Slangar och Rörledning

Ett hydraulsystem kan bestå av både fasta rörledningar och rörliga ledningar i form av slang. Slangar används framför allt när det krävs flexibilitet, exempelvis när delar av systemet rör sig i förhållande till varandra, vid vibrationer eller när man vill underlätta åtkomst vid service och underhåll.



Figur 2.6. Portar på TEMA-koppling

Lastbilarna är utrustade med portar för snabbkoppling i förutbestämda platser, exempelvis med TEMA-kopplingar som har en specifik geometri på insticksdelen och tillhörande kopplingshona [9]. Fördelen med sådana kopplingar är att de minskar risk för läckage och

dessutom möjliggör att hydraul ledningar och slangar kan anslutas och frånkopplas snabbt, manuellt och utan behov av verktyg.

2.3.4 Filter

Ett filter i ett hydraulsystem används för att hålla hydraul vätskan ren så att systemet kan arbeta tillförlitligt och för att minska risken för slitage på komponenterna. Filtret avlägsnar föroreningar ur oljan, såsom smuts och damm från omgivningen, metallpartiklar från slitage och andra fasta partiklar.

Genom att fånga upp dessa ämnen bidrar filtret till att upprätthålla en acceptabel renhetsnivå. Detta är särskilt viktigt eftersom många hydrauliska komponenter har mycket små tolerans där även små partiklar kan orsaka slitage, interna läckage och sämre effektivitet.

Filtrering innebär alltid ett visst flödesmotstånd i systemet. När filtret så småningom samlar upp föroreningar, ökar tryckfallet över filterelementet. För att undvika att flödet blockeras helt är många hydraulsystem därför utrustade med en bypass funktion som tillåter oljan att passera om filtret blir igensatt, även om filtreringsgraden då tillfälligt försämras tills filterelementet har bytts eller rengjorts. För att underlätta underhåll används ofta även en indikator för igensättning, antingen i form av en visuell markering eller en elektrisk signal.

3. Metod

3.1 Konceptutveckling

För att den nya testriggen ska kunna användas effektivt och säkert under arbetets testmiljö krävs att ett antal tekniska och praktiska krav uppfylls. Dessa krav baseras på både befintlig kunskap och behov som identifierats av tekniker och ingenjörer vid CA avdelningen.

Först undersöktes den nuvarande testriggen och jämfördes med liknande produkter på marknaden. Arbetet inriktades därmed på att samla in information om hur ett hydraulsystem testas, vilka risker som tillkommer med testet, lista ut vilka komponenter som vanligtvis används samt vilka fördelar och nackdelar dessa komponenter har.

Under denna process utvecklades flera konceptuella lösningar som kan användas beroende på vilka komponenter testriggen kommer att bestå av. Dessa lösningar gick genom analys och utvärdering för att hitta den mest lämpligast valet.

3.2 Jämförelse av komponenter med liknande uppgift

Många hydrauliska komponenter har liknande egenskaper, så de måste jämföras med hjälp av strukturerade utvärderingsmetoder för att välja de som är bäst lämpade för testriggen. Denna teknik kan analysera och jämföra ventiler som utför liknande uppgifter men använder olika arbetsmetoder. Tryckbegränsningsventiler och avlastningsventiler är två exempel på ventiler som båda används för att hantera högt tryck på olika sätt.

3.3 Testriggens valda komponenter

Diagnosverktyg

Tre varianter av diagnosverktyg som kan användas för att spara mätvärdena jämfördes. Dessa är” *Parker Service Master Easy Measuring Device*”,” *Parker Service Master COMPACT*” och “*Parker Service Master CONNECT*”.



Figur 3.1. Från vänster till höger, Easy measuring, Master COMPACT och Master CONNECT

För att identifiera det mest lämpliga alternativet användes en tabell baserad på dessa kriterier.

- ***Tillgänglighet*** – I vilken utsträckning komponenten är lätt att få tag på och anskaffa.
- ***Antal portar*** - Möjligheten att ansluta flera mätpunkter och därmed mäta flera parametrar samtidigt.
- ***Bärbarhet***- Hur enkel enheten är att lyfta, transportera och hantera i praktiken.
- ***Användarvänlighet***- Hur komplex användningen bedöms vara i jämförelse med övriga alternativ.
- ***Pris***- Enhetens inköpskostnad.

Kriterier	***Easy Measuring***	***Master COMPACT***	***Master CONNECT***
Tillgänglighet	+++	++	+
Antal portar	+	++	+++
bärbarhet	+++	+++	+
Användarvänlighet	+++	++	+
Pris	$	$$	$$$

Efter jämförelser och diskussioner med ingenjörer bedömdes Master COMPACT CAN vara det mest lämpliga alternativet som diagnosverktyg.

Enheten är en portabel mätutrustning i ett fodral med tillhörande tillbehör och används inom industri och terrängmaskin applikationer för diagnostik av hydrauliska och pneumatiska

system. Den är programvarubaserad och drivs via programvaran SensoWin. Programvaran stödjer mätning i realtid och erbjuder dessutom funktioner för vidare analys samt dokumentation av den nedladdade mät informationen.

Mätanordningen är utrustad med åtta mätportar samt en USB-C-port för kommunikation och dataöverföring till dator. Displayen utgörs av en 4,3-tums pekskärm. Enheten är specificerad för drift i omgivningstemperaturer mellan -20 °C och 50 °C.

Flödesmätare

Som flödesmätare valdes en CAN turbinbaserad modell, *Turbine Flow Meter SensoControl* från Parker. Instrumentet är avsedd för oljebaserad hydraul vätska. Instrumentet har dimensionerna 125 mm (höjd), 190 mm (längd) och 62 mm (bredd). Flödesmätaren är specificerad för en omgivningstemperatur mellan -10 °C och 50 °C, vilket möjliggör användning i både kalla och varma miljöer. Den mäter flödeshastigheter upp till 300 l/min och är konstruerad för drift vid tryck upp till 350 bar. Vidare är den godkänd för vätsketemperaturer i intervallet -20 °C till 90 °C.



Figur 3.2. Turbine Flow Meter SensoControl från Parker

Nålventil

Som nålventil valdes Parkers *2-way needle flow control valve*. Ventilen är tillverkad i stål och har en justerbar öppningsarea, dimensionerad för flöden upp till 225 l/min samt drifttryck upp till 420 bar. Den utmärks av hög flödeskapacitet trots kompakt volym, möjlighet till manuell avstängning med mycket låg läckagenivå samt god finjusterbarhet och reglerkänslighet.

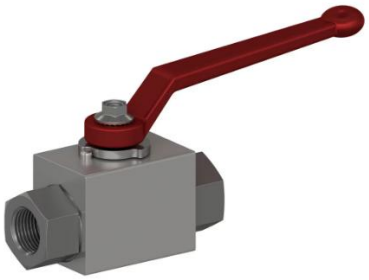
Vidare är ventilen relativt tolerant mot föroreningar. Ventilen är manuellt manövrerad och specificerad för drift inom temperaturintervallet -30 °C till 120 °C.



Figur 3.3. Needle flow control valve från Parker

Kulventil

Som kulventil valdes Parkers *2-way ball valve*. Ventilen är tillverkad i stål och kännetecknas av god täthet samt en enkel och robust manövrering, vilket bidrar till ökad driftsäkerhet i systemet. Ventilen är avsedd för manuell manövrering och är specificerad för drift inom temperaturintervallet −40 °C till 250 °C.



Figur 3.4. 2-way ball valve från parker

Filtrering och bypassfunktion i testriggen

För denna funktion valdes ”*High Pressure Inline Hydraulic Oil Filter*” från Parker. Filtret är av inlines-typ och monteras i serie i testriggens hydraul krets. Det är dimensionerat för flöden upp till 270 l/min och för driftstryck upp till 450 bar. Vidare är filtret utrustat med en bypass

funktion i form av en integrerad ventil som öppnar vid ett differentialtryck upp till 7 bar. Konstruktionen är tillverkad i järn och stål, och filtreringsprestandan är fastställd genom fler passtest enligt ISO 16889.



Figur 3.5. High Pressure Inline Hydraulic Oil Filter från Parker

Tryckbegränsningsventil

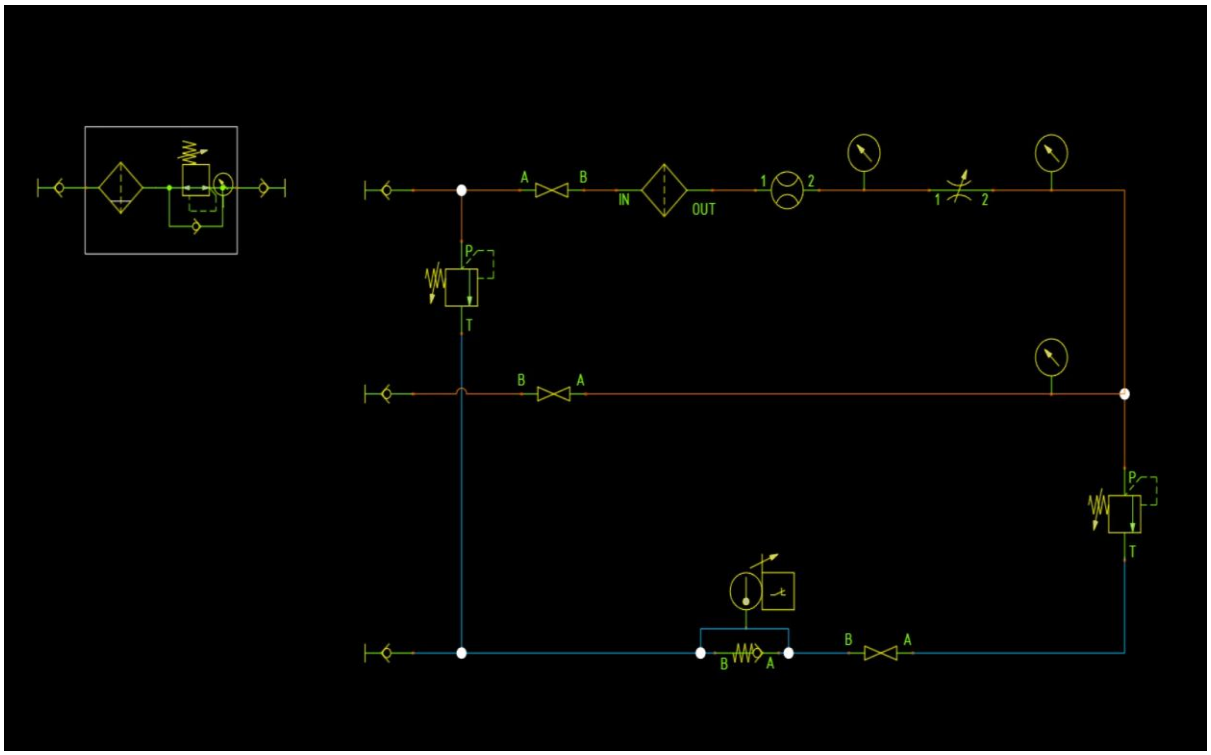
Två ventiltyper från SUN HYDRAULICS valdes: en direktverkande tryckbegränsningsventil samt en pilotstyrd, balanserad kolv-tryckbegränsningsventil. Båda är dimensionerade för flöden upp till 200 l/min och drifttryck upp till 350 bar. Ventilerna kännetecknas av mjuk och tyst funktion, mycket låg läckagenivå, god smutstolerans och snabb respons, samt är relativt okänsliga för slambildning.

Den direktverkande tryckbegränsningsventilen används primärt som skyddsfunktion för testriggen vid övertryck. Ventilen är lämplig i överströmningskretsar och börjar öppna mot tank när inloppstrycket når det inställda värdet och avlastar flödet, vilket begränsar fortsatt tryckökning. Konstruktionen är förhållandevis okänslig för variationer i oljetemperatur och föroreningar i oljan. Eftersom justerskruvens tätningar belastas av systemtrycket kan inställningen dock endast ändras när systemet är trycklöst.

Den pilotstyrda tryckbegränsningsventilen används för tryckreglering. När inloppstrycket når inställt värde öppnar ventilen mot tank och avleder flöde, vilket möjliggör en stabil reglering av trycknivån. Ventiltypen erbjuder god reglernoggrannhet och uppvisar en låg tryckökning i relation till flödesförändringar, samtidigt som funktionen är mjuk och tyst med måttligt snabb respons. I testriggen används denna ventil för att upprätthålla en definierad trycknivå, vilket utgör en förutsättning för efterföljande mätning och analys av LS-tryck.

3.4 Test med simulering

Programvarusimulering är ett välkänt sätt att bedöma ingenjörskoncept. Simuleringen kan användas för att testa och analysera hur ett system i konceptstadiet förväntas bete sig i verkligheten innan en fysisk prototyp byggs. Detta görs i enlighet med de antaganden som gjorts och den modell som används.
Innan den fysiska testriggen byggs bör idéerna testas och verifieras i en simuleringsprogramvara för att säkerställa både kvaliteten på den planerade testriggen och att den kommer att fungera på ett säkert och tillförlitligt sätt.
Det är dock viktigt att komma ihåg att i en simulering är det omöjligt att helt återskapa och reproducera systemets verkliga beteende på grund av det stora antalet variabla störningar som kan påverka systemet i verkligheten.



Figur 3.6 Riggens kretschema

3.4.1 Programvaran och miljö

För den användes programvaran MATLAB + Simulink som huvudmiljö och signalflödesmodellering. För fysisk modellering och automatisk enhetshantering för

hydrauliska komponenter användes dessutom Simscape och simscape fluids, vilka är tillägg för simulink.

3.4.2 Simuleringsmetod och hantering av LS-tryckmätning

I denna simulering används förenklade block för att beskriva ett hydraulsystems grundläggande funktion i sin mest elementära form. Det innebär att standardkomponenter i Simulink används utan ytterligare detaljering som kan öka komplexiteten.

Syftet med simuleringen är att utvärdera konceptet och undersöka om systemets komponenter uppvisar likvärdigt beteende oberoende av pump typ. För att möjliggöra en tydlig och spårbar analys valdes en tryckkompenserad pump som ersättning för en variabel pump i simuleringen.

Skälet till detta är att blocket för variabel pump i Simulink saknar lämpliga portar för att mäta LS-trycket direkt. Detta tyder på att lastsignalen och den tillhörande regleringen av flöde och tryck sker internt, vilket begränsar möjligheten för analys och verifiering.

En tryckkompenserad pump har däremot portar avsedda för att jämföra trycket mellan två mätpunkter och kan, med hjälp av en inställd differenstrycksmarginal, reglera pumpens utgående tryck så att skillnaden mellan punkterna inte överskrider den angivna marginalen. På detta sätt kan pumpen användas för att efterlikna den reglerprincip som normalt återfinns hos en variabel pump.

3.5 Genomförande av tester med extern utrustning

Eftersom företaget saknade den utrustning som krävdes för provning av hydraulsystem kunde tester inte genomföras i verklig miljö. Efter omfattande diskussioner fattades därför beslut om att kontakta externa hydraulikföretag för att undersöka möjligheten att få tillgång till deras testutrustning. Vissa av de kontaktade företagen accepterade förfrågan och beviljade tillgång till relevant testutrustning, vilket möjliggjorde genomförandet av tester under mer realistiska och kontrollerade förhållanden.

4. Resultat

4.1 Funktionsbeskrivning av den konceptuella testriggens hydraulkrets

Hydrauloljan matas in i testriggen från pumpen via en TEMA-koppling och leds vidare genom systemet med ett i förväg bestämt rotation per minut (rpm). Inledningsvis passerar oljan en säkerhetsfunktion i form av en avlastningsventil. Avlastningsventilen är avsedd att skydda riggens komponenter och är inställd på en maximal tillåten trycknivå om 350 bar. Så länge trycket i riggen understiger denna nivå förblir ventilen stängd. Om trycket däremot når 350 bar öppnar ventilen och avleder flödet till tanken för att förhindra övertryck och därmed minimera risken för skador.

Efter säkerhetssteget leds oljan genom ett filter och därefter riggens mät sektion, där tryck- och flödesmätare registrerar pumptrycket samt aktuellt flöde. Dessa mätningar används för att följa systemets drift och utvärdera prestanda under provningen.

Oljan passerar därefter en justerbar strypning i form av nålventil. Genom att justera nålventilens öppningsarea kan ett kontrollerat tryckfall skapas över strypningen, samtidigt hålla flödet på en relativt konstant nivå trots tryckvariationer. Detta skapar provförhållanden som kan upprepas på ett tillförlitligt sätt, där trycket kan justeras utan att flödet förändras i samma utsträckning.

Nästa steg i riggen utgörs av en justerbar tryckbegränsningsventil. I denna del byggs trycket upp till att det inställda gränsvärdet uppnås, varpå ventilen aktiveras och låter oljan ledas vidare till tanken. På så sätt kan en önskad trycknivå ställas in och upprätthållas, samtidigt som systemet skyddas mot att trycket överskrider inställningen.

Mellan nålventilen och tryckbegränsningsventilen är riggens LS-ledning ansluten och försedd med en kulventil. I system med variabel deplacementpump används LS-ledningen för att avkänna lasttrycket och vidarebefordra en signal till pumpens regulator, vilket gör att pumpen kan anpassa levererat flöde efter belastningsbehovet. Kulventilen används för att antingen möjliggöra eller blockera denna tryckåterkoppling. När ventilen är öppen kan LS-ledningen avkänna trycket, och när ventilen är stängd isoleras LS-ledningen från trycksignalen. I system med fast deplacementpump är LS-funktionen normalt inte aktiv, eftersom sådana pumpar saknar lastkännande reglering, vilket innebär att LS-ledningen i dessa fall förblir frånkopplad.

4.1.1 Mätproceduren och dokumentation

Mätproceduren genomförs av fyra operatörer med tydligt fördelade arbetsuppgifter. En operatör ansvarar för att öppna och stänga ventiler samt styra oljeflödet genom riggen. En annan ansvarar för att avläsa, lagra och dokumentera mätdata till företagets databas med hjälp av diagnosverktyget MASTER COMPACT, genom att ansluta dess mätportar till de olika mätinstrument som är integrerade i riggen. Den tredje operatören ansvarar för att starta och stänga av pumpen och den fjärde övervakar testförloppet för att identifiera eventuella fel eller avvikelser. Detta inkluderar fel i riggen, brister i mätinstrumenten samt andra säkerhetsrelaterade incidenter som kan uppstå under testningen.

4.2 Analys och bedömningar

Testriggen avses inte dimensioneras för kontinuerlig drift i närheten av pumpens maximala kapacitet, eftersom detta skulle medföra ökade dimensioneringskrav och därmed behov av större och tyngre komponenter för att hantera de högre belastningarna. En sådan utformning skulle resultera i en mer skrymmande och tung rigg, vilket i sin tur skulle försämra manövrerbarhet och hanterbarhet. Av dessa skäl begränsas riggens maximala flöde till 200 l/min. Följaktligen planeras provningen att genomföras inom ett driftintervall motsvarande cirka 20–80 % av pumpens maximala flödes- och tryckkapacitet.

Det är även viktigt att uppmärksamma att drift av testriggen medför värmegenerering, eftersom en del av den hydrauliska effekten omvandlas till värme i systemet. Den teoretiska hydrauliska effekten E kan beräknas enligt

$$E = (Q * P) / 600$$

där E anges i kW, Q är flödet (l/min) och P är trycket (bar). Utifrån den beräknade effekten kan den potentiella värmeutvecklingen i systemet därefter uppskattas.

4.2.1 Hantering av hydrauloljetyper och begränsning av oljeinblandning

Eftersom lastbilarna kan vara specificerade för olika typer av hydraulolja bör testriggen i sin nuvarande utformning användas med en och samma olja typ. Som en möjlig framtidsutveckling kan riggen förses med en lösning som möjliggör fullständig avtappning och tömning av den olja som finns i systemet vid behov av oljebyte. Detta är motiverat av att olika oljor har skilda egenskaper och att pumpar ofta är konstruerade och verifierade med

avseende på en specifik olja typ. En sammanblandning av oljor kan försämra smörjförmåga och materialkompatibilitet, vilket i förlängningen kan medföra ökat slitage eller skador på pumpen.

5. Diskussion

Detta examensarbete har präglats av flera utmaningar, främst till följd av ämnets höga grad av specialisering inom industrin. Efter diskussioner med ett flertal företag framkom att endast tre företag i Västra Götalandsregionen besitter relevant kompetens inom området, trots att det finns fler än två dussin verksamma hydraulikföretag. Detta indikerar en begränsad tillgång till specialistkunskap.

På grund av de potentiella tekniska riskerna med att bygga riggen samt avsaknaden av lämplig utrustning för både byggnation och testning, fattades beslutet att upphandla konstruktionen externt. Ytterligare en utmaning var att erhålla tillgång till avancerad simuleringsprogramvara. Det finns specialiserade programvaror för hydraulik som möjliggör optimerade simuleringar med visuell representation av flöden i realtid under varierande förhållanden såsom ”*fluidsim* ”och ”*automation studio*” bland annat. Tillgång till dessa verktyg kunde dock inte beviljas, varför MATLAB i stället användes för genomförandet av simuleringarna.

Riggen har betydande utvecklingspotential och kan i framtiden vidareutvecklas mot en mer automatiserad lösning. En möjlig förbättring är att konstruera ett system där kopplingsanslutningen kan justeras för att vara kompatibel med flera typer av kopplingar, i stället för att enbart vara anpassad till temakopplingar. En sådan utveckling skulle öka riggens flexibilitet och möjliggöra testning av ett bredare spektrum av maskiner, inte enbart maskiner monterade på lastbilar.

Ett robust mätsystem bidrar till flera fördelar i provningsprocessen. Det möjliggör kortare provningstider, förenklar testförfarandet och förbättrar reproducerbarheten mellan olika mättillfällen. Genom att standardisera arbetsmomenten minskar beroendet av operatörens individuella arbetssätt, vilket reducerar en betydande källa till variation i testresultaten. Därutöver ökar systemets flexibilitet, vilket skapar bättre förutsättningar för provning och utvärdering av olika typer av hydrauliska system.

De främsta användarna som skulle dra nytta av produkten är montörer, eftersom den möjliggör mer precisa mätningar av tryck. Även ingenjörer kan dra stor nytta av systemet, då det ger möjlighet att jämföra teoretiska data om maskiners trycktolerans med faktiska prestandadata. Detta kan bidra till att verifiera och kontrollera systemens funktion samt

identifiera eventuella brister som kan uppstå under testning av de hydrauliska system som levereras till kunder.

Vidare kan produkten även ge fördelar för försäljningsavdelningen. Genom att identifiera potentiella problem i ett tidigt skede kan kostnader relaterade till returhantering, reparationer och efterarbete reduceras. Genom att sälja en produkt som är validerad genom testning blir det mer attraktivt för kunder att köpa produkter från Volvolastbilar.

6. Slutsats

Sammanfattningsvis har detta examensarbete genomförts i enlighet med uppsatta mål och planerad metodik. Arbetet har resulterat i ett fullständigt och välgrundat konstruktionsunderlag för en konceptuell testrigg avsedd för analys och mätning av hydrauliska system, med särskilt fokus på LS-tryck. Den konceptuella testriggen möjliggör testning av lastbilars hydraulsystem med samtliga typer av pumpar utan behov av omfattande omkopplingsarbete, vilket därmed besvarar den första frågeställningen ”*På vilket sätt kan testriggen modifieras för att möjliggöra testning av lastbilars hydraulsystem med samtliga pumptyper utan omfattande omkopplingsarbete?”*. Vidare har implementeringen av bypass- och tryckbegränsningsventiler bidragit till att minimera säkerhetsriskerna vid mätningarna, vilket i sin tur besvarar den andra och tredje frågeställningarna ”*Vilka säkerhetsåtgärder krävs för att kunna mäta LS-tryck på ett säkert sätt, utan risk för skador på komponenter eller överhettning av hydrauloljan?*” och ”*I vilken utsträckning kan en testrigg med LS-styrd koppling användas i system med fasta eller dubbelflödespumpar?*”. Genom ett systematiskt urval av komponenter, kompletterat med simulering i MATLAB/Simulink, har funktion och principer kunnat verifieras trots begränsad tillgång till intern testutrustning.

De framtagna ritningarna och konstruktionslösningarna har granskats och godkänts av berörda leverantörer, vilket indikerar att konstruktionen är tekniskt genomförbar och anpassad för tillverkning. Simuleringsresultaten visar att den föreslagna riggen uppvisar förväntat beteende och att mätkonceptet är tillämpligt för såväl analys som jämförelse av olika pumpkonfigurationer.

Nästa steg i arbetet är att realisera konstruktionen genom fysisk uppbyggnad av testriggen samt genomföra praktiska tester i verklig miljö. Detta möjliggör ytterligare verifiering av funktion, mätprecision och driftsäkerhet, samt ger underlag för eventuella justeringar och vidare optimering. Examensarbetet utgör därmed en stabil och väl dokumenterad grund för fortsatt utveckling och framtida implementering av testriggen i praktisk verksamhet.

Litteraturförteckning

[1] Isaksson, O. (2017) *Grundläggande hydraulik,* (1 uppl.). Books on Demand.

[2] Hellman, T. (2024) *Hydraulikens grundläggande principer och användningsområden.* Hämtad den 13 november 2025, från https://verksamhetsblogg.se/hydraulikens-grundlaggande-principer-och-anvandningsomraden/

[3] OpenStax – *University Physics Volume 1*, sektion 14.3 "Pascal's Principle and Hydraulics"

https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-3-pascals-principle-and-hydraulics

[4] Durfee, W. and Sun, Z and Van de Ven, J (2015) *Fluid Power System Dynamics.* Department of Mechanical Engineering University of Minnesota. [Online]. Tillgänglig: https://oylair.com/wp-content/uploads/2021/03/resources-library-2-fluid-power-system-dynamics.pdf

[5] Bucher hydraulics – *Double Pumps* https://www.bucherhydraulics.com/en/products/pumps-and-motors/pumps/internal-gear-pumps-qx/tandem-and-multiple-pumps

[6] https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/PMDE/Catalogs/Truck_Hydraulics/MSG30-8200_SE.pdf

[7] Scherer, M. Geimer, M and Weiss, B. *Contribution on Control Strategies of Flow-On-Demand Hydraulic Circuits.* The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP2013, June 3-5, 2013, Linköping, Sweden

https://ep.liu.se/ecp/092/053/ecp13092053.pdf

[8] Yuken Kogyo- *Basic Hydraulics and components.* Hämtad från [Online]:

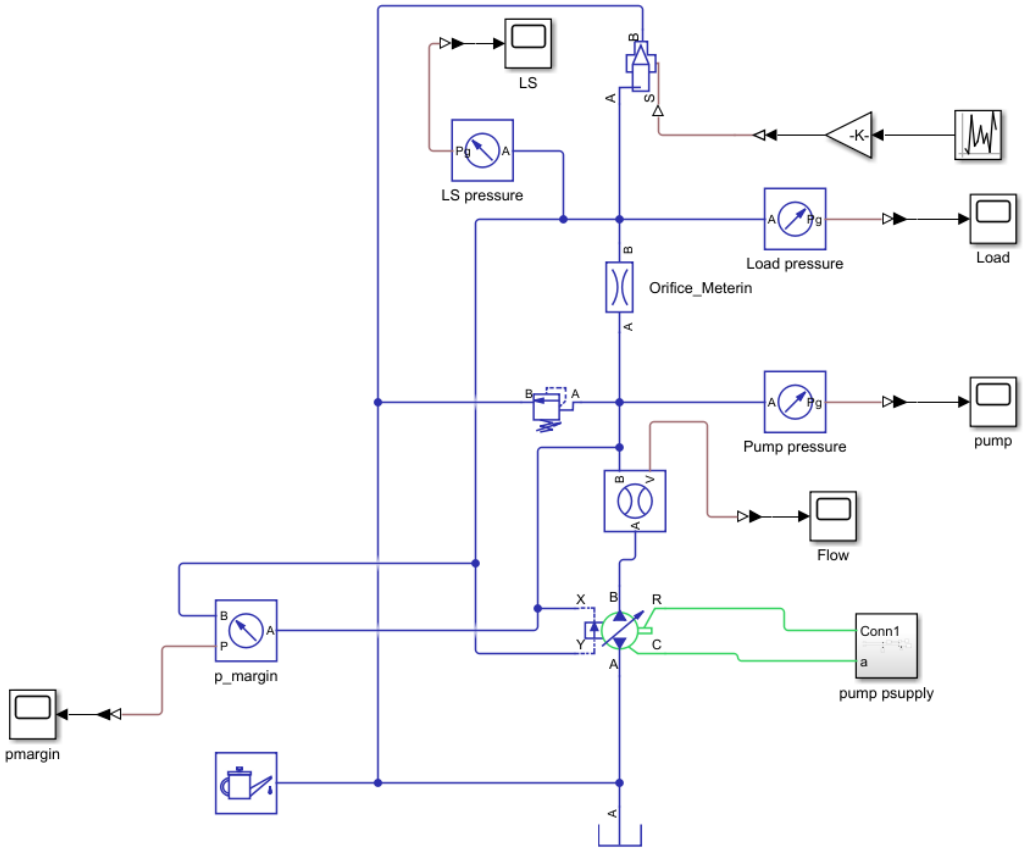
https://yuken-usa.com/pdf/special/Basic_Hydraulic_And_Components_%28Pub._ES-100-2%29_.pdf

[9] Tubes International- HIGH PRESSURE - quick release couplings. Hämtad från [Online]:

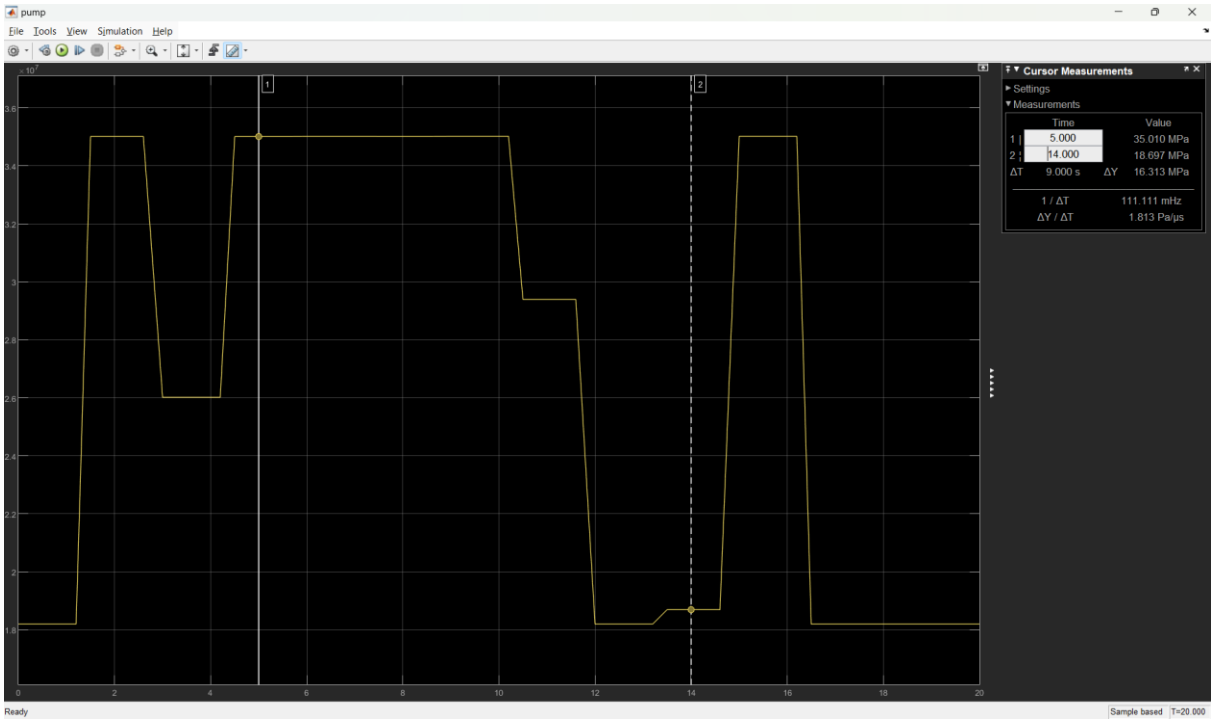
https://www.tubes-international.com/wp-content/uploads/catalogue-en-pdf/high_pressure/high_pressure_quick_release_couplings.pdf

[10] Volvo Trucks- *fact sheet for hydraulic pumps*. Hämtad från: https://stpi.it.volvo.com/STPIFiles/Volvo/FactSheet/HPG-F41,HPG-F51,HPG-F61,HPG-F81,HPG-F101,HPG-V95,HPG-V130,HPG-T77,UHPG_Eng_02_332277050.pdf

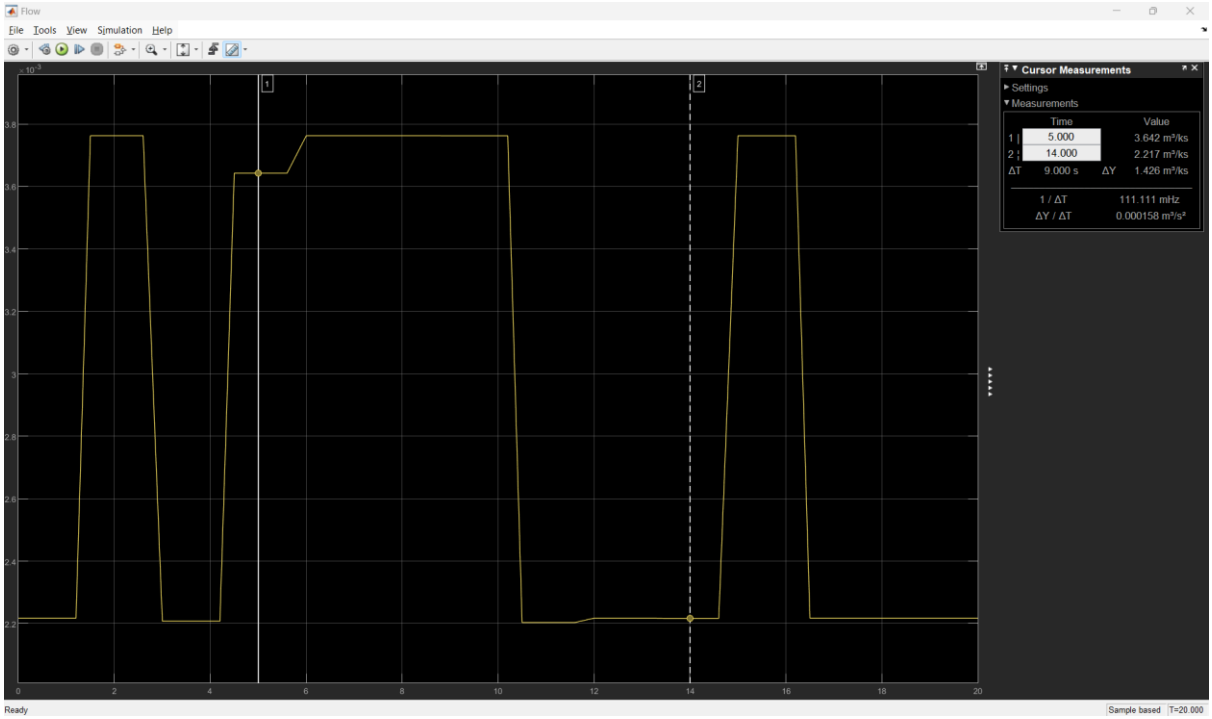
Bilagor


LS
LS pressure
-K-
Load pressure
Load
Orifice_Meterin
Pump pressure
pump
Flow
p_margin
pmargin
Conn1
pump psupply

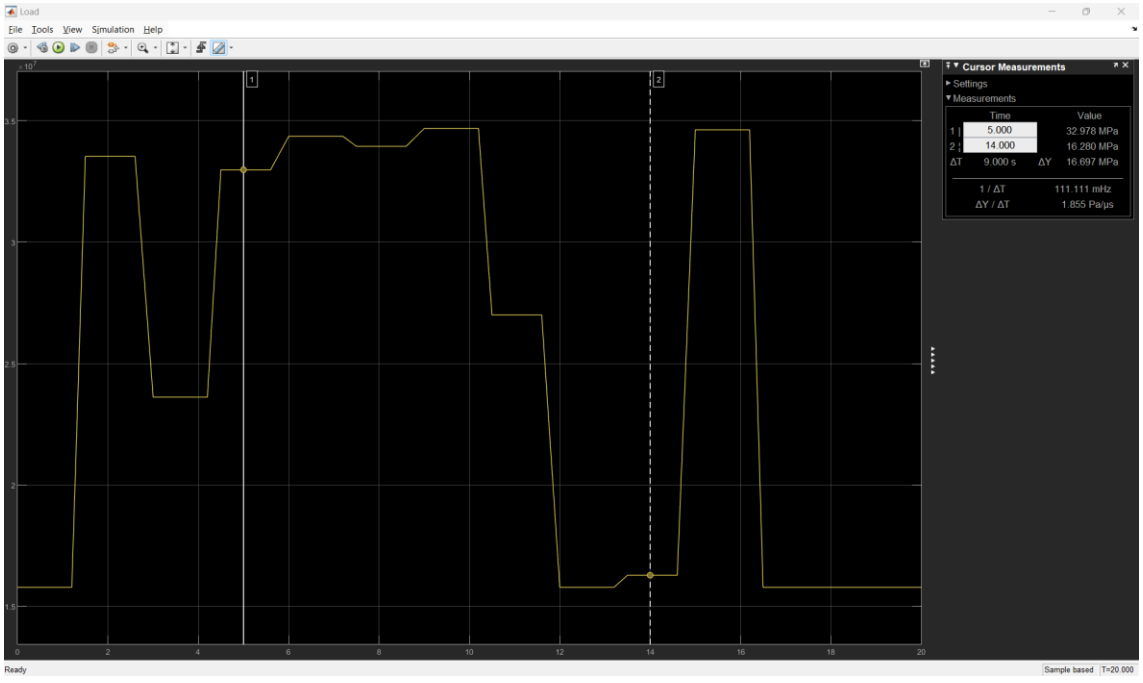
[1] Pumpens Graf



[2] flödes graf



[2] load graf



[2] LS-tryckgraf

