

Automation av elektriskt drivna arbetsmaskiner

Högpressterande pilotsteg i hydrauliska proportionalventiler (HPx2)

Publik rapport



Författare: **Liselott Ericson och Magnus Sethson med input från övriga projektdeltagare**

Datum: **2022-04-28**

Projekt inom **FFI Fossilfria mobila arbetsmaskiner**

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	4
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	4
5 Mål	5
6 Resultat och måluppfyllelse	5
6.1 Kravställning på ventilen	6
6.2 Fältstudie och kvalitativ jämförelse	6
7 Spridning och publicering	12
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	12
7.2 Publikationer.....	13
8 Slutsatser och fortsatt forskning	13
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	14

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Detta projekt syftade till att i en förstudie belysa och förtydliga det förmodade behovet av snabbare pilotventiler i mobila hydrauliska system. Dessa system finns så gott som alltid på entreprenadmaskiner, på många lastbilar och andra specialfordon inom jordbruk, skogsbruk och gruvnäring. Även trädgård och vägunderhåll använder alltmer komplexa mobila hydrauliska system.

Med ett tilltagande intresse från kunder kring funktioner som autonomi och alternativa drivkällor, främst elektrisk drivning så har just pilotventilerna identifierats som en svag punkt i dagens system. Pilotventilen är den lilla hydrauliska ventil som sköter positioneringen och aktiveringen av det hydrauliska systemets huvudventiler som i sin tur fördelar oljeflödet från pumparna till de olika hydrauliska rörelserna på en maskin.

Projektet har lyckats genomföra studier av aktuell forskning och en första fältstudie på en lastmaskin. De forskningsfrågor som beskrivits i konferens och forskningsartiklar under 2000-talet visar på ett brett sökande efter autonoma och semi-autonoma funktioner i olika mobila applikationer. I påfallande många är en delslutsats att dynamiken i rörelserna behöver ökas. Från den fältstudie som gjorts i detta projekt kan man se att det är just pilotventilerna som svarar för en stor del av fördröjningen mellan aktivering och aktivering i maskiner. Den gjorda fältstudien har visat var dagens teknik befinner sig och litteraturstudien har visat på ett ökande framtida behov av snabbare pilotventiler.

Ytterligare krav kommer från en allmän utveckling mot alltmer elektrifierade maskiner. Flera företag har uppvisat elektrifiering både genom kabeldriven energiförsörjning men främst batteridriven. Detta kommer medföra, i kombination med ökad automatisering av maskinrörelser, ett förändrat effektbehov från försörjningssidan. Detta behöver matchas av maskinernas rörelser på ett nytt sätt. Återigen blir då pilotventilernas egenskaper centrala för att kunna genomföra en hållbar och energieffektiv styrning av maskinen. Men fortfarande med bibehållen produktivitet. Genom studier av koncept funna i litteraturstudien och förda diskussioner mellan projektets parter har mycket intressant idéuppslag kunna göras. Projektet har därmed tjänat som en dörröppnare för fortsatta diskussioner kring elektrifiering is kombination med automatisering och mobila hydrauliska system.

Förstudieprojektet genomfördes av Parker Hannifin, Ljungby Maskin och Linköpings universitet.

2 Executive summary in English

This project aimed to shed light on and clarify in a feasibility study the presumed need for faster pilot valves in mobile hydraulic systems. These systems are almost always found on construction machinery, on many trucks and other special vehicles in agriculture, forestry, and mining. Garden and road maintenance also use increasingly complex mobile hydraulic systems. With a growing interest from customers regarding functions such as autonomy and alternative power sources, primarily electric drive, the pilot valves have been identified as a weak point in today's system. The pilot valve is the small hydraulic valve that handles the positioning and activation of the hydraulic system's main valves, which in turn distribute the oil flow from the pumps to the various hydraulic movements on a machine.

The project has succeeded in conducting studies of current research and a first field study on a loader. The research questions described in conferences and research articles during the 2000s show a broad search for autonomous and semi-autonomous functions in various mobile applications. In strikingly many cases, a partial conclusion is that the dynamics of the movements need to be increased. From the field study done in this project, it is precisely the pilot valves that are responsible for a large part of the delay between activation and activation in machines. The field study has shown where today's technology is, and the literature study has shown an increasing future need for faster pilot valves.

Additional demands come from a general development towards increasingly electrified machines. Several companies have shown electrification through cable-powered energy supply but mainly battery-powered. This will entail, in combination with increased automation of machine movements, a changed power requirement from the supply side. This needs to be matched by the movements of the machines in a new way. Once again, the properties of the

pilot valves become central to be able to carry out sustainable and energy-efficient control of the machine. But still with maintained productivity. Through studies of concepts found in the literature study and discussions between the parties to the project, it has been possible to make very interesting ideas. The project has thus served as a door opener for further discussions about electrification in combination with automation and mobile hydraulic systems. The feasibility study was carried out by Parker Hannifin, Ljungby Maskin and Linköping University.

3 Bakgrund

Moderna arbetsfordon som vi ser dagligen på vägen, i gruvan, i skogen eller på bygget får sin funktion genom hydrauliskt manövrerade rörelser. Traditionellt finns det en eller flera centrala pumpar som levererar flöde och effekt till fordonets olika system. En snabb övergång till eldrivna arbetsfordon görs genom att förbränningsmotorn byts ut mot en elmotor medan hydraulsystemet förblir oförändrat. För att denna förändring ska kunna genomföras på ett bättre sätt måste hydraulsystemet bli mer energieffektivt för att minska behovet av installerad batterivolym. Ett sätt att minska energibehovet är att införa mer autonoma rörelser för att på så sätt kunna sänka energibehovet men också kunna prediktera energibehovet (batterivolymen) bättre. En viktig aspekt för införandet av autonoma arbetsmaskiner är att minska skillnader mellan olika operatörers energianvändning och produktivitet. Ytterligare ett exempel på detta är att en ökad grad av automation i arbetsfordonets rörelser medför en ökad förmåga att förutse dess energibehov genom hela arbetscykeln. Detta är en central fråga när batterier ska implementeras i fordonet och likaså regenerativ drift studeras. Detta främjar en övergången till elektriskt drivna arbetsmaskiner.

En nyckelkomponent för centraliserade hydraulsystem är den effektstyrande ventilen, därmed är ventilen en nyckelkomponent för snabbare övergång till eldrift/batteridrift. De hydrauliska ventilerna styrs vanligtvis genom en hydraulisk pilotfunktion. En mindre hydraulisk ventil styr alltså fordonets huvudventiler. Denna pilotventil i huvudventilernas försteg sätter därmed den aktiverande hastigheten i hela fordonet. Hittills har utvecklingen av dessa pilotventiler helt varit relaterad till den upplevda körkänslan hos operatören och därmed den haptiska förmåga som människans hand har. En gränshastighet på 2 Hz för hela ventilkompletet har länge varit fullt tillräcklig, men nu bör målsättningen ligga på över 20 Hz. Det finns en risk att automation och styrningen inte blir optimal för att ventiler inte möter de nya kraven som ställs med den förändrade kravbildens gällande snabbhet, styrbarhet och precision. Detta leder till fördröjning och eventuellt val av fel teknik för elektrifierade och autonoma arbetsfordon. Denna aspekt glöms oftast bort när elektrifiering av arbetsmaskiner diskuteras.

Nu närmar vi oss en ny era med alltmer automatiserade fordon samt ökade krav på snabb effektreglering för att kunna balansera energifördelningen i fordonet. Båda dessa trender har sitt ursprung i ett ökat fokus på elektrifiering av arbetsfordon. Detta medför att en vidareutveckling behövs av dagens pilotventiler, där fokus läggs på en kombination av egenskaper som bättre tillvaratar hydraulikens möjligheter i en utökad mängd applikationer. Och detta utan ett bivillkor om att operatören i första hand ska erhålla en viss körkänsla. Genom en högre dynamik i pilotventiler och därmed huvudventilerna kan vissa funktioner flyttas från rena hårdvarulösningar till digitaliserade mjukvarufunktioner i fordonets styrdatorer. Detta ger en stor ökad flexibilitet och anpassning efter fordonets aktuella driftsmiljö. Att införa partiella semi-autonoma funktioner i ett fordonets arbetscykel kan väsentligt avlasta operatörens kognitiva last. Vidare kommer en förhöjd dynamik i pilotventilerna kunna förändra konstruktionen för arbetsfordon.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Arbetet i detta projekt syftade till att klargöra vilka krav som behöver ställas på framtida pilotventiler samt öka kunskapen kring pilotventilens funktion i sin manövrering av huvudventilerna.

Följande hypoteser var grunden för detta projekt:

- En ökad elektrifiering kommer ställa nya krav på högre dynamik hos pilotventilen som styr huvudventilerna i det hydrauliska systemet hos arbetsfordon.
- Kraven på pilotventiler som försteg till hydrauliska huvudventiler kommer ändras vid en ökad grad av autonomi hos arbetsfordon.

Utefter dessa hypoteser hade två forskningsfrågor formulerats som projektet arbetade med:

- Vilka krav ställs på de hydrauliska huvudventilerna och därmed deras pilotventiler för autonoma arbetsmaskiner funktion?
- Var går gränsen för en solenoid styrd pilotventil inom mobila ventiler för autonoma arbetsmaskiner?

5 Mål

Projektet var en förstudie och att nå fullgoda svar på ovanstående forskningsfrågor krävs ett längre projekt. Målet med detta förprojekt var att:

- Klargöra behovet för utveckling av pilotventiler med eller utan solenoid styrning för autonoma arbetsmaskiner för att öka elektrifierings-potentialen.

6 Resultat och måluppfyllelse

De mål som sattes upp med projektet måste sägas vara uppfyllda. En ökad förståelse för pilotventilernas betydelse har kunnat initieras. Fler frågeställningar har kunnat formuleras inför en framtida ansökan. Vikten av säkerhet i hela den mekatroniska kedjan behöver studeras. Framtida autonomi ställer krav på snabbare aktivering vilket leder till att linjäritet och andra egenskaper måste utsättas för flera kompromisser. Detta leder i sin tur till något förändrade effektbehov i en mer autonom maskin än i en operatörstyrd. I sin tur leder detta till andra krav på effektförsörjning och därmed förändrade krav på hur en elektrifiering av t.ex. entreprenadmaskiner ska se ut. De preliminära studierna av forskning och praktiska försök som gjorts i detta projekt visar på att just dessa pilotventiler både medför potentiella problem och möjligheter att styra framtida effektbehov på ett nytt sätt som är tjänligt för både elektriska försörjningssystem och det autonomt utförda arbetet av maskinen. Pilotventilernas egenskaper i allt detta är därför av största vikt. Man kan likna detta med det som kallas sekundärstyrning inom hydrauliken. Framtida system kommer behöva anpassas till de elektriska försörjningssystemen och vice versa. Detta kommer medföra att det kommer inte bara handla om att styra den elektriska-hydrauliska omvandlingen med elektrifierade pumpar utan man kommer också behöva styra den hydrauliska sidan sekundärt, men med syfte att uppnå goda egenskaper i just den elektrisk-hydrauliska omvandlingen.

Av de förväntade fyra huvudresultat av projektet kan man se att dess aktiviteter har berört delarna enligt följande:

- Kravställning på solenoid pilotsteget för mobila proportionalventiler för autonoma arbetsfordon.: Den litteratur och konceptstudie som genomförts har lyckats sammanställa en lista med önskade egenskaper. I en jämförelse mellan nuvarande och framtida automatiserade maskiner ser man ett tydligt ökat behov av dynamisk respons. Detta exemplifieras ofta i litteraturen genom skattningar av önskvärda stegsvar. Många gånger saknas dock denna hårdvara och flera experiment redovisas med dyra servo-ventiler som flödeskontrollerande element. Här finns en större kunskapslucka i branschen rent allmänt än vad som först antogs.
- Redovisning av behov av förändrade pilotsteg för proportionalventiler för övergång till autonoma arbetsfordon: Av fältstudien kan man dra några preliminära slutsatser som stödjer tesen att ventilererna måste finna nya utföranden där balansen mellan aktivering, linjäritet och säkerhet får en ny avvägning. Även måttliga förändringar kan ge nya stärkta funktioner i maskiner, t.ex. genom snabbare tippfunktion i lastmaskin.
- Förstudieanalys av solenoidventiler och dess begränsningar som försvårar övergång till autonom arbetshydraulik med mobila ventiler. Studier av olika koncept och de praktiska testerna i laboratorier samt fältstudie visar att dagens sektionbredder kan komma att behöva ändras för att öka tillgänglig

parameterrymd för framtida konstruktioner av pilotsteg. Det kan visa sig vara ett större marknadsmässigt hinder. Ofelbart kommer ökade krav på dynamik i pilotstegen leda till krav på större byggmått, något som inte självklart kommer accepteras av maskinbyggare. Återigen, krav på säkerhet kan också medföra nya krav som kan bli svåra att uppfylla inom befintliga konstruktioners aktivering. Projektet har medverkat till ökad förståelse för denna påverkan på hela ventilkonstruktionens utförande.

- Ökad kunskap inom företagen om solenoidventiler och dess nuvarande begränsningar: Fältstudien har tydliggjort en del egenskaper och dess betydelse för övriga maskindelars last och rörelseförmåga. Speciellt intressant har det varit att se hur mindre förändringar slår igenom genom hela det mekatroniska systemet som styr en maskins rörelser. Det betyder mycket för hela systemets effektåtgång och manövrerbarhet hur man hanterar de små elektriska och hydrauliska effekter som finns i pilotstegen. Insikt och kunskap inom detta har ökat under projektets gång.

I huvudsak har arbetet i denna förstudie genomförts i två olika aktiviteter; en omfattande litteraturstudie där olika koncept från forskningsartiklar har studerats och diskuterats i en intern seminariereserie schemalagd till varannan vecka, samt en fältstudie med tillhörande parameterstudie universitetslaboratorier. Nedan redovisas några av resultaten från dessa två aktiviteter. Efter det diskuteras hur arbetet i projektet har resulterat i leveranser och hur målen har uppfyllts.

6.1 Kravställning på ventilen

Viktor Larsson har genomfört en genomgång av konferenser och journaler under 2000-talet och publicerade resultat med avseende på autonomitet i entreprenadmaskiner. Med bakgrunden av den litteraturstudie som genomfördes kan en kravmatris på styrventilen summeras med tabellen nedan. I korthet, förväntar vi oss större maxflöden, högre maximalt tryck, reducerade olinjariteter, högre säkerhetsbehov och snabbare respons på grund av automation.

	Present proportional valves	Automated Machine	Servo Valve
Leakage	Low	Low	Medium/high
Response (bandwidth)	[3 ... 5] Hz ¹	10*[0.5 ... 8] = [5 ... 80] Hz ^{2,3}	[60-100] Hz ⁵
Linearity	Deadband tolerable ⁴ Medium max flow Medium hysteresis	No deadband ⁴ High max flow Low hysteresis	No deadband High max flow Low hysteresis
Cost	Low	Low	High
Safety	Medium	High	Medium(?)
Robustness	High	High	Medium
Max pressure	Low	Medium	High

¹Approximately 3.5 Hz according to ref. [Oppwerwall2020] Tim Oppwerwall, Ben Holter and Simon Yardley. "Autonomous Control of Hydraulic Mobile Applications - A 21-ton Excavator Case Study". 12th International Fluid Power Conference, Dresden 2012.

²Assuming 10 times the resonance of the function. Range of resonances [0.5 ... 8] Hz from [Oppwerwall2020] excavator: lowest value for boom, highest for bucket).

³This value may become even higher if hydraulic sub-functions (e.g. feed reducer, pressure relief, pressure compensation) are computerized as well.

⁴Note that this primarily concerns the main valve spool (the pilot spool is usually zero- or underlapped).

⁵Assumption

6.2 Fältstudie och kvalitativ jämförelse

För att studera effekterna av förändrade dynamiska egenskaper hos pilotventiler har en fältstudie gjorts på en lastmaskin av modell L15 hos Ljungby Maskin. Maskinens tippfunktion för redskapsfästet är ett bra exempel på det som avses i detta förprojekt. En högre dynamik i den funktionen kan tänkas bidra till förbättrade egenskaper både vad gäller manuell körning och semi-automatisk. Till exempel kan snabbare

reaktion ge bättre möjlighet att skaka ur skopan vid lägre temperaturer. En mer automatisk styrning av tippfunktionen ingår i körning med aktiv motbalansering och vid olika markföljande arbeten.

Genomförande

Flera mätserier av prestanda hos pilotventiler har genomförts, dels i laboratoriet på Linköpings Universitet, dels i lastmaskinen. Mätserierna utformades så att tänkta förbättringar avseende befintliga pilotventiler kunde påvisas kvalitativt. Inga kvantitativa försök har gjorts utan fokus har legat på att göra enkla modifieringar och se om det blev bättre eller sämre än befintlig konstruktion. I samband med arbetet med själva anpassningen av en lastmaskin för dylika tester under 3 dagar i mars 2022 har många intressant idéutbyten mellan LiU, Parker Hannifin och Ljungby Maskin gjorts.

De modifieringar som togs fram baserades på enkla resonemang utifrån kraft och tillgänglig energi i pilotventilernas elektromagnet. De tre modifieringarna är lättat ankare, 0.67mm fas samt 1.33mm fas. Totalt skapades 4 par av ventiler med avsikt att studeras monterade i maskin.

Den första modifieringen avser en urborring av det rörliga ankaret i ventilens elektromagnetiska del. Urborringen utformades för att medföra minimal påverkan på magnetkretsens egenskaper.

Viktminskningen är ca 12%. Utformning medförde dock att det hydrauliska låsningsfenomen som finns i bakkant av ventilen förändrades, och som delvis är hanterat genom en liten upphöjning i ventilhusets gavel. Förändringen antas medföra en mindre låsningseffekt och snabbare respons men också risk för oavsiktlig aktivering. Det kom också att visa sig att den isärtagna men icke modifierade varianten inte riktigt lyckades pressas samman till ursprunglig position och därför bär spår av denna minskade låsningseffekt, vilket alltså medför en något snabbare aktivering men med ökad risk för oönskade ventilrörelser.

De två andra modifieringarna avser en avfasning av geometrin i det magnetiska luftgapet. Antagandet var att det skulle medföra en förändring i den magnetiska kraften och dess karaktäristik som funktion av slaglängd. Detta kunde medföra både en försämring och förbättring. Två längder på avfasningen användes, 0.67mm och 1.33mm. Det kom att visa sig att 1.33mm avfasningen medförde instabilitet i pilotventilens huvudfunktion och därför redovisas inte de få små aktiverade fallen med denna modifiering. Endast ett fåtal mätningar gav ett användbart resultat för denna variant.

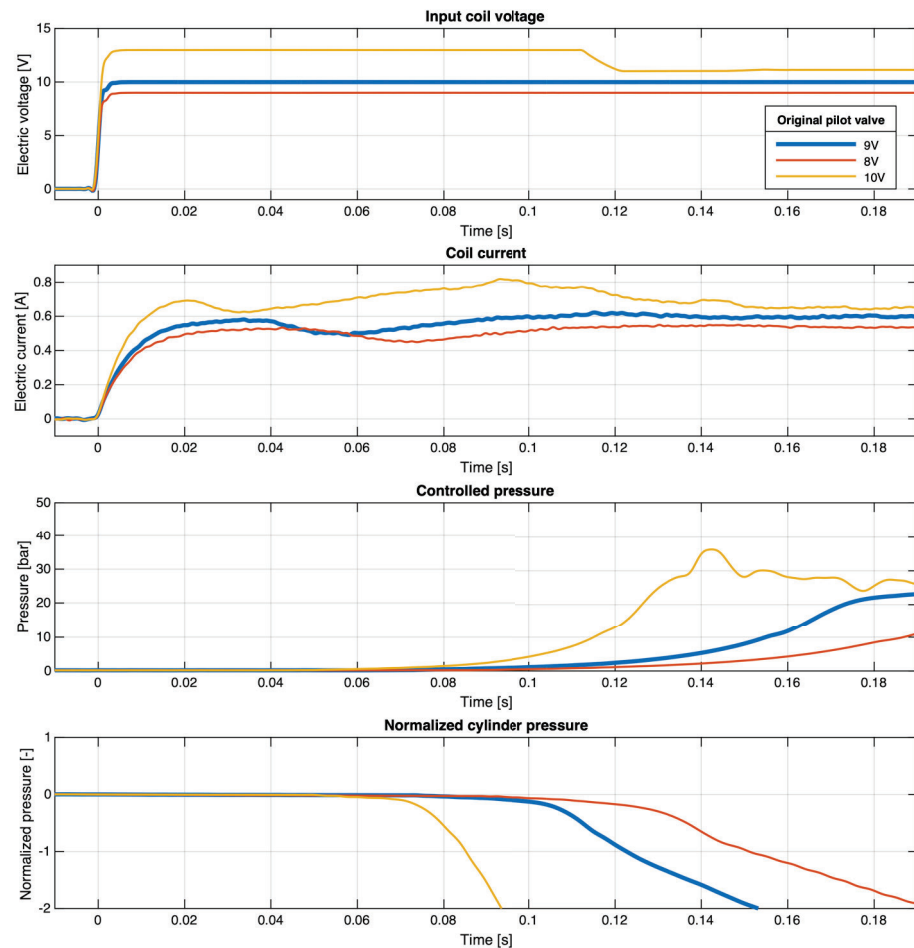
Sammantaget redovisas alltså fyra fall i denna fältstudie: original, isärtagen, fas 0.67mm och urborrad.

Nedanstående diagram visar responsen från de olika delarna i händelsekedjan, från inspänning till pilotventilen, dess strömsvar, pilottrycket samt ett normaliserat cylindertryck i aktuell cylinderkammare för lastmaskinens tippfunktion. Till detta samlades också data in för cylinderläge och acceleration för redskapsfästet, dock fick dessa data inte någon relevans för några slutsatser i detta inledande arbete och redovisas därför inte.

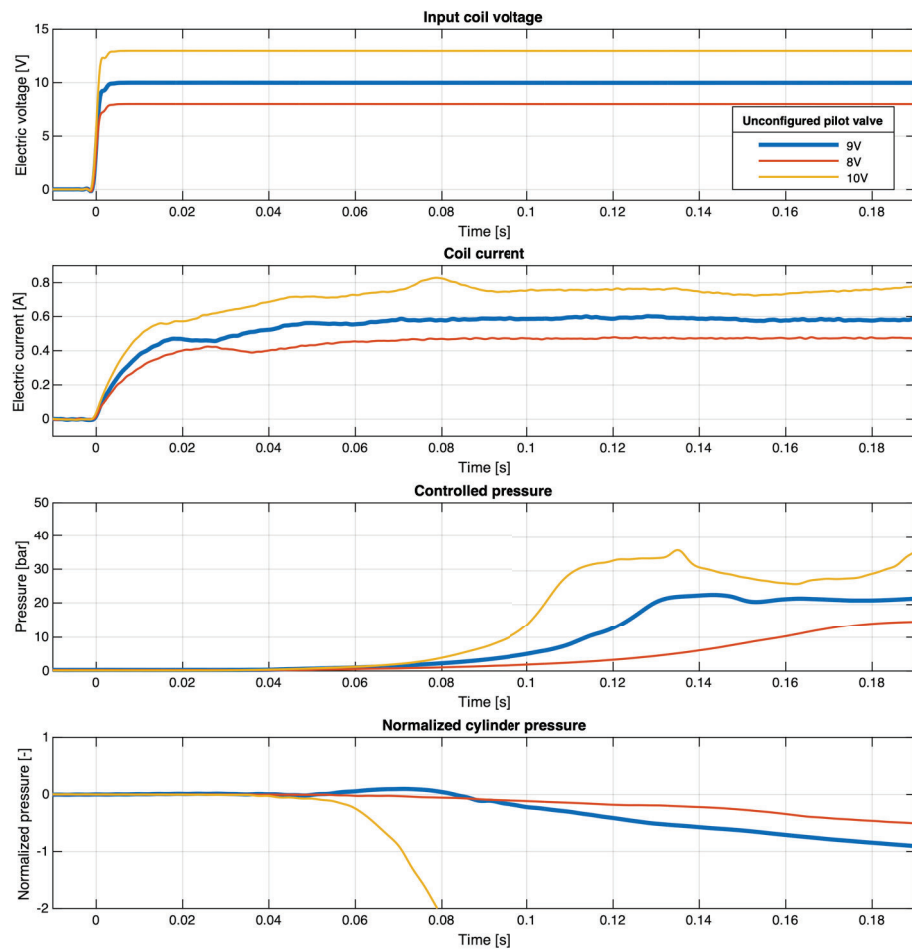
Fältstudien genomfördes 23–25 mars 2022 på Ljungby Maskin i närvaro av Magnus Sethson (LiU), Bengt Johansson (Ljungby Maskin), Liselott Eriksson (LiU), Björn Ericsson (Parker Hannifin) och Johan Hansson (Parker Hannifin).

Uppmätt dynamik

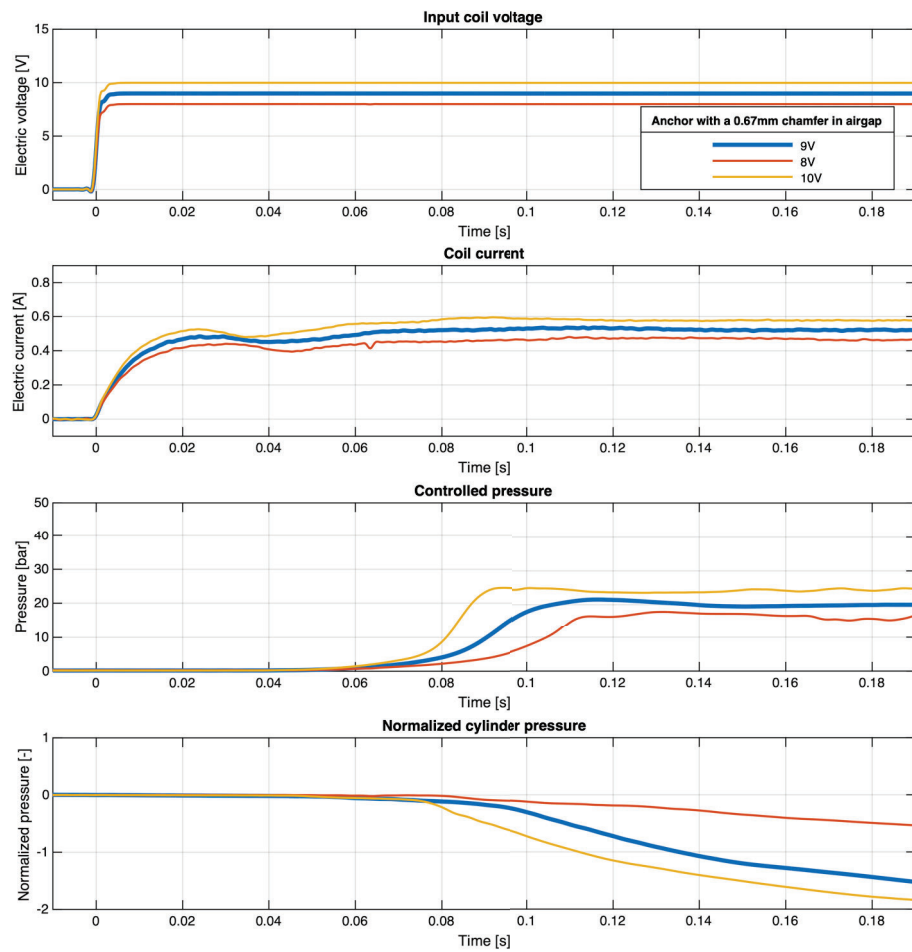
I varje diagram markeras responsen vid fallet med ett 9V steg i inspänning, men även 8V och 10V finns med. Samtliga kurvor är medelvärdesbildade över flera testfall för att minimera effekter av brus och variationer. Mätdata är också kraftigt noll-fas filterat för att hantera mätbrus vilket gör att vissa mindre artefakter uppkommer ibland innan själva steget i signalen sker.



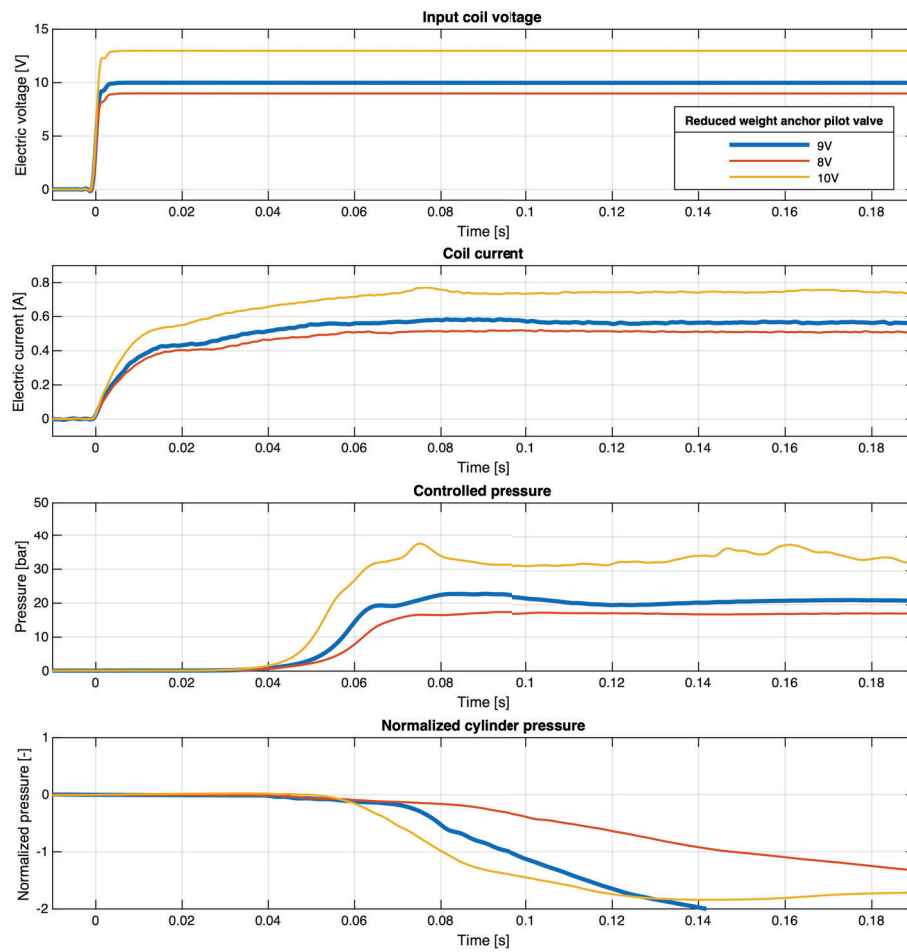
Figur 1 Respons från de originalmonterade ventilerna. Detta är den typiska reaktion man har i maskinen idag och utgör referens för de kvalitativa jämförelser som gjorts.



Figur 2 Respons från den icke modifierade, men isärplockade ventilvarianten. Teoretiskt sett skulle denna mätserie sett snarlik ut med den ovan. Men man kan se att någon mindre förändring har uppstått i samband med återmonteringen av pilotventilen. Man har fått ett något större utrymme i bakkant av elektromagneten och därmed ett mindre låsfenomen vid aktivering. Det ger ett något snabbare förlopp.



Figur 3 Den här varianten av modifieringen avser en av-fasning av ankarets främre kant mot luftgapet i elektromagneten. En tidigare mycket skarp kant har fasats av med en 0.67mm fas. Det ger två effekter, dels en sammantaget lägre magnetisk reluktans vid mindre aktiveringsavstånd, men samtidigt också en ökad reluktans vid mer stängda luftgap. Detta är två motverkande effekter som får olika dominans beroende på ankarets position.



Figur 4: Detta är den urborrade varianten där ankarets vikt har minskats. Liksom den icke modifierade varianten ovan så har det också uppstått en förändring i det initiala låsfenomenet. Så det uppsnabbade förloppet beror förmodligen på två saker som är svåra att i denna studie skilja åt.

Kvalitativ jämförelse

De ovan presenterade uppmätta dynamiska förloppen kan jämföras på en kvalitativ nivå, även med några numeriska värden. Man kan studera diagrammen ovan och extrahera ungefärliga mått på tidsförloppen. Sammanställda i tabellen nedan så ger dom en bild av vilka potentiella förändringar som med enkla medel gick att genomföra. Man måste förstås komma ihåg att några förändringar också medför ökad risk för ofrivillig aktivering av pilotventilerna under mycket speciella förhållanden. Följande egenskaper kan urskiljas:

Aktiveringstid	Tid innan ankaret anses ha startat sin rörelse mätt från steg i spänning.
Ankarrörelse	Tid som ankar är i huvudsaklig rörelse och ännu inte i en reglerande funktion.
Tryckreglering	Tid till dess att tryckregleringen börjar verka som detekterat i pilottrycket.
Huvudslidsrörelse	Tid till noterbar tryckförändring i cylinder, aktivering av huvudslid.
Stabilitet	Grad av stabilitet i pilottryck.

Egenskap	Original	Isärplockad	Fas 0.67mm	Urborrad
Aktiverings tid	33ms	17ms	25ms	15ms
Ankarrörelse	55ms	27ms	40ms	25ms
Tryckreglering	80ms	64ms	60ms	40ms
Huvudslid..	107ms	73ms	95ms	70ms
Stabilitet	++	+	++	-

Av tabellen framgår att förbättringen av totala aktiveringen (huvudslidsrörelse) kan uppskattas till ca 40%. Detta sker delvis på bekostnad av risk för ofrivillig aktivering och ökad olinjäritet. Dessa iakttagelser harmoniserar väl med gängse uppfattning och publikationer inom ämnet.

7 Spridning och publicering

Magnus Sethson (LiU) har haft en kort kurs i servoteknik och dynamisk analys av ventiler på Parker Hannifin med 25 deltagare. Ett studentprojekt genomfördes där 3 studenter designade en testrigg för studier av pilotventilers elektromagnetiska egenskaper. Även en hydraulisk försöksutrustning konstruerades vilket användes för att genomföra tester innan fältstudier samt dynamiska prov av ventilfunktionen. Studenterna har haft en presentation för personal från Parker Hannifin. Mätningar gjordes under tre dagar på Ljungby Maskin med tillhörande projektsammankomst. Mätserier från fältstudien kommer göras tillgängliga i filtrerad form som MATLAB objekt till företagen.

Viktor Larsson har gjort en omfattande genomgång av aktuella forskning inom området och sammanställt en separat rapport kring det för spridning inom deltagande företag.

(I samband med de bänktester på pilotventiler som genomfördes innan fältstudien kan nämnas en sekundär effekt av projektet. Det uppdagades en del andra saker i nuvarande konstruktion av pilotventilerna som inte direkt har med detta projekts studier att göra, men de visade sig ge förklaringar till andra fenomen i pilotventilernas närhet.)

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Projektet hade som mål att öka kunskapen om vad som kan vara relevant att fortsätta att arbeta med.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	(x)	Tanken är att fortsätta med studien i ett nytt projekt men kanske inte innan sommaren.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		

Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		
--	--	--

7.2 Publikationer

Ingen publikation är gjord. Det finns ett utkast till en konferensartikel men är ej klar eller inskickad.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

I en jämförelse mellan nuvarande och framtida automatiserade maskiner ser man ett tydligt ökat behov av dynamisk respons. Detta exemplifieras ofta i litteraturen genom skattningar av önskvärda stegsvar. Många gånger saknas dock denna hårdvara och flera experiment redovisas med dyra servo-ventiler som flödeskontrollerande element. Här finns en större kunskapslucka inom forskning av automatiserade och elektriska arbetsmaskiner. Projektet har visat behov och potential av nya utföranden där balansen mellan aktivering, linjäritet och säkerhet får en ny avvägning. De fältstudier som gjordes inom projektet visade på både potential att förändra de nuvarande ventilerna och behovet att se på helheten på fordonet för att optimera styrning, energiförbrukning och produktivitet för en hållbar framtid.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Parker Hannifin AB

Johan Hansson – Division Engineering Manager MSDE and R&D Manager Borås - Mobile



Hydraulic Systems Division Europe

Telefon: +46 (0)33 700 55 33

Email: johan.hansson@parker.com

Björn Eriksson, PhD · Principal Engineer · Mobile Centre of Excellence (MCE)

Telefon +46 (0)70 977 52 25

Email: bjorn.eriksson@parker.com



Bengt Johansson, Utvecklingschef / Development Manager

Telefon +46(0)37225200

Email: bengt.johansson@lungbymaskin.se



Liselott Ericson, Biträdande professor, Avdelningen för Fluida och Mekatroniska System

Telefon: 013-281198

Email: liselott.ericson@liu.se

Magnus Sethson, Universitetslektor, Avdelningen för Fluida och Mekatroniska System

Telefon: 013-28 89 45

Email: magnus.sethson@liu.se

Viktor Larsson, Post-doc., Avdelningen för Fluida och Mekatroniska System

Telefon: 013- 28 13 46

Email: viktor.larsson@liu.se