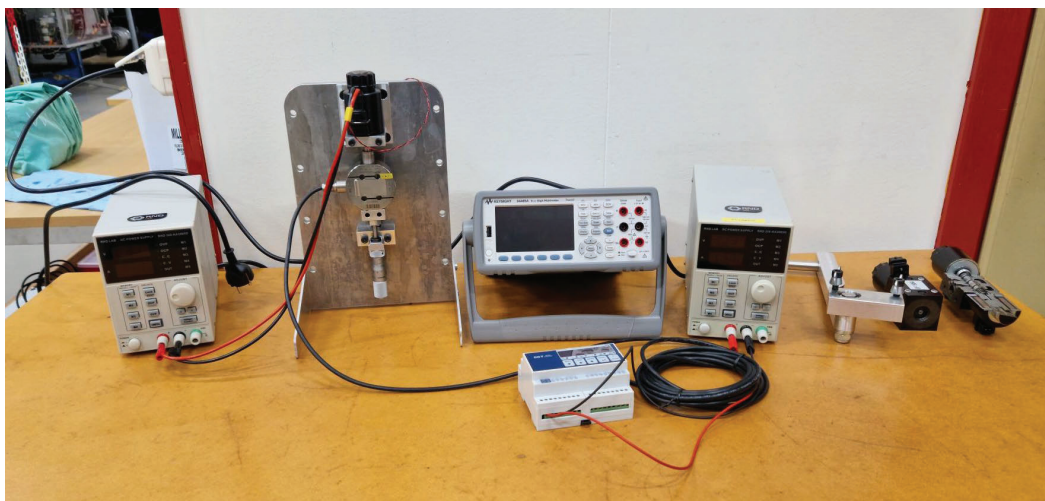


Automation av elektriskt drivna arbetsmaskiner

Högpresterande pilotsteg i hydrauliska proportionalventiler (HPx2), del 2

Publik rapport



Författare: Viktor Larsson och Liselott Ericson med input från övriga projektdeltagare
Datum: 2023-09-15
Projekt inom FFI Fossilfria mobila arbetsmaskiner

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	3
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	4
5 Mål	5
6 Resultat och måluppfyllelse	5
6.1 Djupanalys av pilotsteg	6
6.2 Enkel förstudie om autonom rörelse av arbetsfordon	7
6.3 Kravställning på ventilen	11
7 Spridning och publicering	11
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	11
7.2 Publikationer.....	12
8 Slutsatser och fortsatt forskning	12
9 Deltagande parter och kontaktpersoner	12
10References	13

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.

I projektet har en reglerteknisk analys av en arbetsmaskin genomförts och på så sätt identifierat krav på pilotventiler. Mätningar av pilotventiler komplett system i laboratorium har visat att konventionell pilotventilteknik resulterar i begränsad prestanda. Detaljerade specifika studier av konventionella pilotventiler har genomförts i simulering och i experiment vilket lett till en ökad förståelse av deras begränsningar. Resultaten har bidragit till kunskapshöjning inom företagen i projektet och ligger till grund för fortsatta experimentella studier av effekten av en ökad dynamisk prestanda hos pilotventiler. Förstudieprojektet genomfördes av Parker Hannifin, Ljungby Maskin och Linköpings universitet.

2 Executive summary in English

This project aimed to shed light on and, in a feasibility study, clarify the presumed need for faster pilot valves in mobile hydraulic systems. These systems are almost always found on construction machinery, 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 concerning functions such as autonomy and alternative power sources, primarily electric drives, the pilot valves have been identified as a weak point in today's systems. 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.

In the project a control-oriented analysis has been made of a working machine, and thereby identified relevant requirements on pilot valves. Measurements of pilot valves installed in a system in a laboratory have shown that conventional pilot valves suffer from limited dynamic performance. Detailed studies of isolated pilot valves have been conducted in simulation and in experiments which have led to an increased understanding of their limitations. The results have contributed to increased knowledge of the topic within the companies in the project, and form a basis for continued experimental studies on the effect of an increased dynamic performance of pilot valves. The project 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 som skapar dessa rörelser. Senare decenniers fokus har legat på alltmer energieffektiva delkomponenter i systemen, som till exempel dessa pumpar. Nu kommer dock utvecklingen framöver innefatta även styrning och dynamiska egenskaper av de rörelser som ger arbetsfordonen sin funktion. Detta drivs också på av ett ökat fokus på automation och elektrifiering med nya krav på hantering av batterier för en effektiv användning av den lagrade energin. De hydrauliska delsystemen i arbetsfordon får därmed ökade krav på styrbarhet och respons. Denna utveckling förstärks ytterligare av nya framsteg inom områden som vision och artificiell intelligens, men också regelverk inom säkerhet

och tillgänglighet. I dessa ambitiösa ansatser kan man urskilja en nyckelkomponent, nämligen den hydrauliska styrventil som reglerar de hydrauliska huvudventilernas flöden som i sin tur fördelar energin som ger arbetsfordonet en meningsfull funktion.

Denna pilotventil i huvudventilernas försteg sätter därmed den aktiverande hastigheten i hela fordonet. Hittills har utvecklingen av 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 ventilpaketet har länge ansetts vara 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 kravbilden 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.

Förändringen med mer elektrifierade fordon är intimt förknippat med energilagrets egenskaper, vanligtvis ett batteri. 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, se bland annat [Heybroek2017]. 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 när regenerativ drift studeras. Detta främjar en övergång till elektriskt drivna arbetsmaskiner.

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 styrdata. 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.

Under hösten/våren 2022 genomfördes ett förstudieprojekt, HPx2, för att identifiera vilka framtida krav som kan komma att ställas på pilotventiler och vilka krav på dynamik som kan komma med nya funktioner i arbetsfordon, både operatörsmanövrerade och helt automatiserade. Projektet tydliggjorde att utvecklingen av pilotventiler har stått still en längre tid och många patent är utgångna. Traditionellt har pilotventilerna konstruerats av andra aktörer än de som ger arbetsfordon sin funktion, man har ansett att detta är två skilda teknikdomäner. Så är det inte längre. Helheten måste nu beaktas och det innefattar också kostnaden för styrning. Här måste nya lösningar identifieras.

Detta projekt utgår från det tidigare och avser att fördjupa förståelsen om vilka krav som måste ställas på pilotstegen och vad som kan göras samt vilka tänkbara teknologier som kan stå till buds. Medan tidigare projekt i huvudsak utgjordes av mätningar i fält samt litteraturstudier avser detta projekt att skapa simuleringsmodeller där olika scenarier kan testas och vilka effekter som kan uppnås med olika lösningar på pilotventiler. Simuleringsteknik är idag en vedertagen teknologi för att projektera och utvärdera hydrauliska system. Den utgör tacksamt ett analysverktyg för hydrauliska system eftersom dessa innehåller ett flertal fysikaliska olinjäriteter och vågutbredningsfenomen som annars är svåra att hantera.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Arbetet i detta projekt syftade till att etablera simuleringsmodeller där olika teknologier för pilotventiler kan testas mot ett urval av rörelser hos arbetsfordon som har potential att automatiseras.

Följande hypoteser utgjorde grunden för projektet:

- 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 nya forskningsfrågor formulerats som projektet ska arbeta med:

- Kan ökad dynamik i pilotstegen hantera de ökade krav som ställs på dynamik och respons vid elektrifiering av arbetsfordon?
- Vilka teknologier har potential att tillgodose ökade krav på dynamik och respons i framtida pilotsteg utan att närma sig servoteknikens kostnadsbild?

5 Mål

Projektet hade som mål att med tidigare förvärvade kunskap, data och områdesbevakning plocka fram relevanta studiefall som kan exemplifieras genom simuleringar. Projektets resultat skulle kunna ligga till grund för framtida sonderingar och diskussioner som ska leda fram till en större forskningsansökan.

- Klargöra potentialen för parterna gällande automatisering av rörelser i arbetsfordon med uppdaterade och förnyade krav och begränsningar avseende pilotventiler.
- Etablera ett antal testexempel baserade på simuleringsteknik som kan användas i framtida utvärdering av teknologier och samarbeten för utveckling av autonomi och elektrifiering i arbetsfordon.

6 Resultat och måluppfyllelse

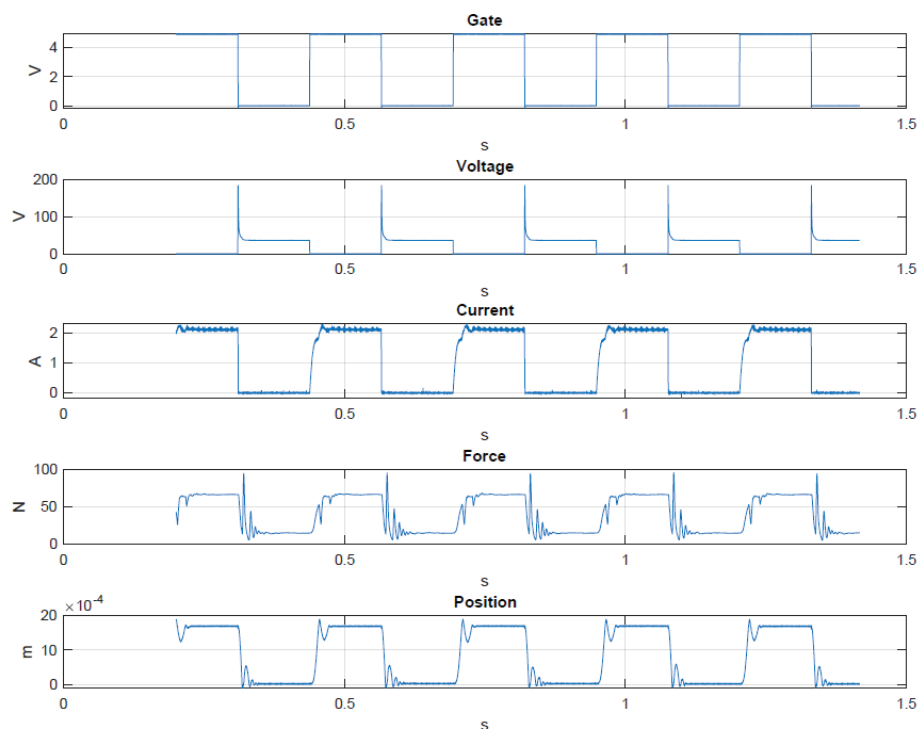
Målen anses uppfyllda. Den begränsningen som finns i uppfyllelsen av projektet är att inga tester på helfordon har gjorts. Projektet ansåg att labbtester fungerade bra i den fas som arbetet ligger i och att helfordonstester inte ansågs relevant. Potentialen gällande automatisering av rörelser i arbetsmaskiner har undersökts genom en litteraturstudie, där den sammanfattade slutsatsen är att tekniken som behövs finns tillgänglig, men högre dynamisk prestanda hos pilotventilerna samt beräkningsprestanda hos styrdatorer förmodligen kommer krävas vid högre grader av automation. Ett återstående arbete på denna punkt är att genom experiment kvantifiera och verifiera hur stor prestandaökning som kan förmodas krävas hos pilotventiler i synnerhet. Experimenten bör även tas vidare och provas utanför laboratoriemiljö.

De testexempel som tagits fram har baserats på inom reglertekniken klassiska stegsvar, som är ett bra mått på hur väl en sluten reglerloop presterar. Dessa testexempel kan utvecklas ytterligare med mer applikationsspecifika tillämpningar.

Följande avsnitt beskriver projektens huvudsakliga resultat, utgående från arbetspaketen som finns beskrivna i projektansökan.

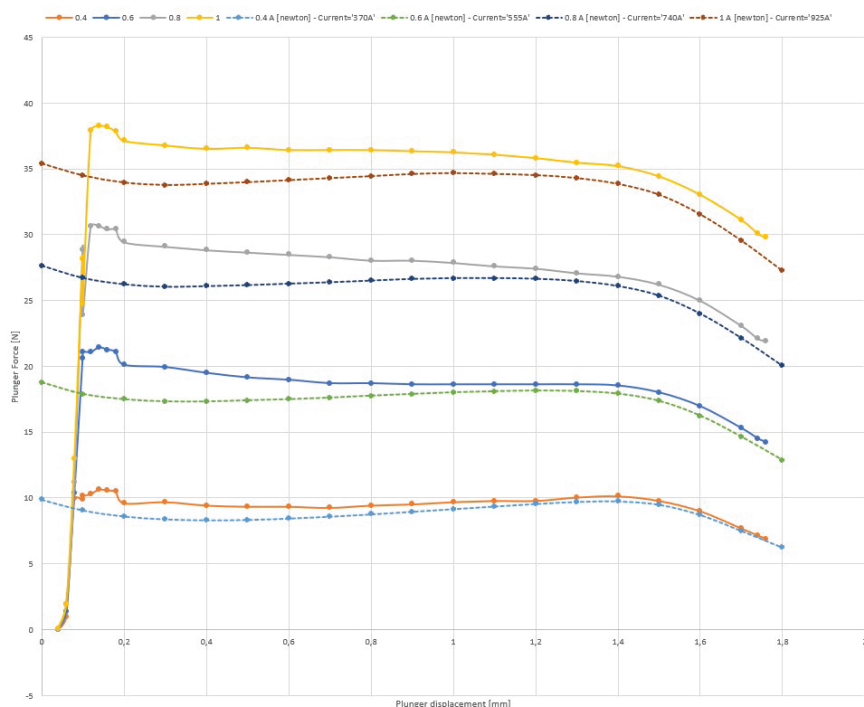
6.1 Djupanalys av pilotsteg

För att få en bättre förståelse för pilotventilens funktion (prestanda och begränsningar) har labbtester genomförts på konventionella pilotventiler (Parker PS25). Mer specifikt har dessa tester syftat till att isolera och förstå pilotventilens ingående delar. En testtrigg har konstruerats, i vilken magneten kan monteras så att positionen och kraften i magnetankaret kan mätas. Testtriggen har sedan använts för att genomföra såväl statiska som dynamiska tester för att förstå relationen mellan spänning, kraft och position hos ankaret. Mätresultaten har använts för att ta fram en simuleringsmodell som beskriver dessa samband. Figuren nedan visar jämförelser mellan simuleringar och mätningar på en PS25.



Figur 1 Laborativa tester av magneten som styr pilotventilen.

Utöver labbtesterna har även Marlon Schwank (trainee på Parker Hannifin) deltagit och gjort detaljerade studier av magneten på PS25. Finita element-metoden (FEM) användes för att göra en detaljerad modell av magnetkretsen och gav en väldigt god förståelse för de olika delarnas inverkan på den magnetiska kraften. Marlon kunde även använda mätningar från Magnus Sethsons testtrigg för att validera modellen. Figuren nedan visar en jämförelse mellan simulerade och uppmätta statiska krafter som funktion av positionen på ankaret vid olika strömmar.



Figur 2: Magnetisk kraft i PS25 som funktion av ankarets position vid olika strömmar. Avvikelsen vid låga värden på x-axeln beror mest troligen på en fjäder som används i PS25 och som komprimeras tills den kollapsar för att åstadkomma låga slag. Detta är dock acceptabelt då arbetsområdet för PS25 är över ca 0.4 mm. Den största anledningen till återstående avvikelser antas vara materialdata för ankaret, där ett standardmaterial i beräkningsprogrammet använts.

6.2 Enkel förstudie om autonom rörelse av arbetsfordon

En central fråga som formulerades under denna studie är att utreda hur arbetsfordonens hydraulsystem kommer förändras som en följd av automation. För att besvara denna fråga genomfördes en litteraturstudie samt analyserades arbetsmaskinen ur ett reglerperspektiv. Ett första steg är att definiera automation, där vi kan se det som maskinverkställandet av en uppgift tidigare utförd av en människa [Machado2021]. Liksom för vägfordon kan automation indelas i olika grader beroende på hur stor del av en uppgift som utförs av maskinen. För arbetsmaskiner är också en viktig distinktion, jämfört med vägfordon, att de har två parallella rörelsesystem, där det ena ansvarar för att flytta maskinen (framdrivning) och det andra för att förändra maskinens geometri (arbetssystem). Det senare systemet är vanligtvis hydrauliskt och kan till exempel vara en grävmaskinsarm eller kranen på en skogsmaskin. Förekomsten av de två rörelsesystemen medför att även automationsgraden kan delas upp för dessa [Machado2021], så att en maskin kan ha olika grad av automation hos sina respektive rörelsesystem. Inom ramen för detta projekt är fokus på det hydrauliska arbetssystemet. Automatisering av detta system innebär att en mänsklig operatör ska, i olika grad, ersättas av en dator. För att möjliggöra detta kan ett antal krävda egenskaper hos den automatiserade maskinen identifieras, genom att betrakta ett konventionellt system ur ett reglerperspektiv. Operatören kan ses som en sofistikerad regulator med ett antal attraktiva egenskaper:

- **Aktivering** – Operatören kan förändra geometrin genom att, via en joystick eller annat reglage, aktivera systemets hydrauliska funktioner.
- **Återkoppling** – Operatören använder flertalet signaler som återkoppling för att önskvärt styra maskinen. Detta rör sig inte endast om positioner på maskinen, utan även ljud, vibrationer samt en kontinuerlig visuell observation av maskinens omgivning.
- **Anpassningsförmåga** – En operatör kan anpassa sig och kompensera för en mängd förändringar i maskinen och dess omgivning, såsom olinjäriteter i hårdvaran, temperaturvariationer, långsamma aktuatorer, geometriförändringar etc.
- **Förutsäggelseförmåga** – En operatör har ett väldefinierat uppdrag och kan därför också förutspå vilka maskinrörelser som förväntas inom en relativ lång tidshorisont. Detta

kombinerat med föregående punkt gör det möjligt att i god tid kompensera för t ex. långsam ventildynamik.

Möjliggörare

En dator som ersätter en mänsklig operatör måste således dels kunna agera, dvs aktivera de olika hydrauliska funktionerna, dels kunna observera, dvs mäta relevanta tillstånd (t ex tryck, position) hos maskinen och dess omgivning. Hydraulsystemet hos en automatiserad maskin kommer därför innehålla aktuatorer som kan översätta från signaler till tryck och flöde, samt ett antal sensorer som översätter olika tillstånd till signaler som en dator kan använda. Vid högre grader av automation måste datorn kunna ta större delar av maskinen i beaktande, vilket fordrar ett standardiserat gränssnitt att överföra information i hög hastighet. Ett gränssnitt som även måste innefatta hydraulsystemet. Hög automationsgrad medför också krav på att datorn måste ha noggranna modeller över maskinen och dess omgivning, som måste förfinas över tid på grund av t. ex. slitage och olika arbetsuppgifter. Datorn behöver således ha tillräcklig processorkraft för att genomföra alla beräkningar i realtid.

Ett antal basala krav (möjliggörare) för att kunna realisera automation kan listas enligt:

Krav	Beskrivning	Dagens arbetsmaskiner	Tillräckligt för autonom maskin?
Elektrohydraulisk aktuator	En aktuator som kan översätta från elektriska signaler till tryck och flöde hos hydraulvätskan.	Pilotstyrda riktningssventiler, bandbredd ca 10 Hz	Basala kraven uppfylls, men snabbare respons krävs.
Sensorer	Komponenter som kan översätta fysiska tillstånd till signaler om kan mätas av en dator.	Allt vanligare med såväl tryck- som positions-sensorer som standard.	Förmodligen
Datakommunikation	Ett kommunikationssystem som kan hantera stora datamängder med hög hastighet.	CAN-kommunikation mer eller mindre standard	Förmodligen
Beräkningskapacitet	En processor som kan genomföra många och snabba beräkningar för att styra systemet.	Processorkraft oftast dimensionerad för enklare beräkningar som krävs för operatörsstyrd maskin.	Kommer förmodligen krävas mer processorkraft än tillgängligt idag.

Krav på pilotventiler

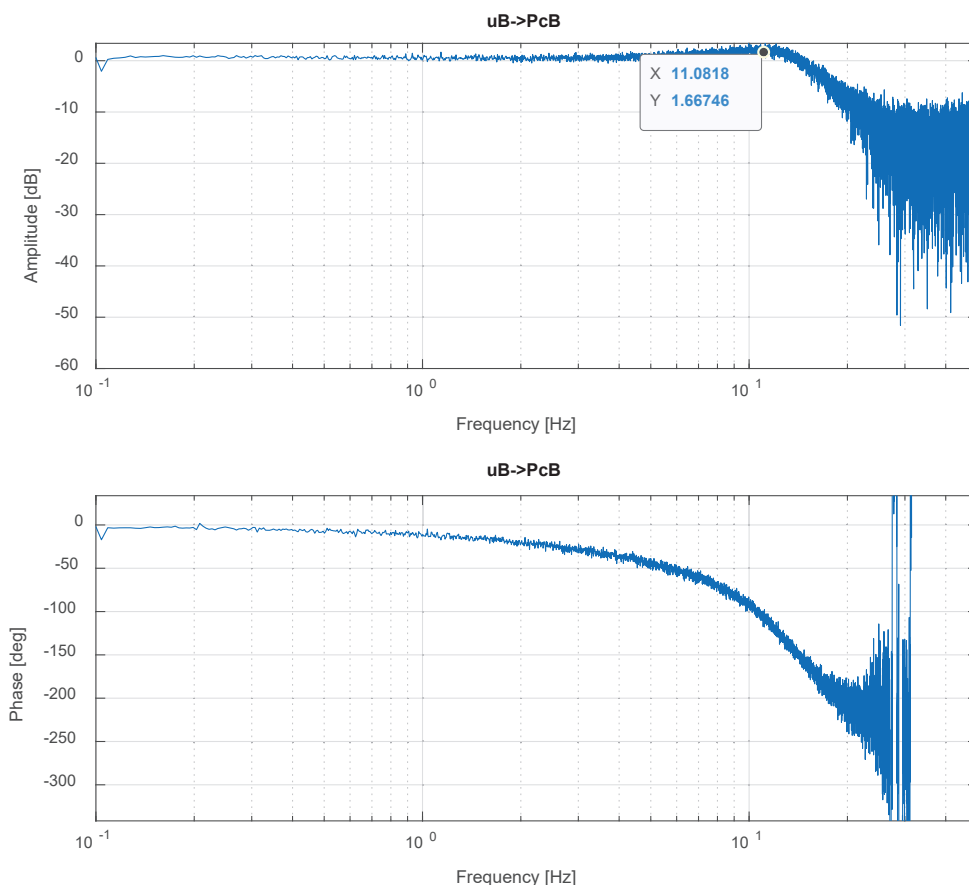
Som indikeras i tabellen finns idag de grundläggande förutsättningarna för att automatisera en arbetsmaskin, men utveckling krävs på vissa områden. I detta projekt har pilotventilerna identifierats som ett begränsande element för att automatisera hydraulsystemet. För att extrahera mer detaljerade krav på dessa kan de hydrauliska funktionerna betraktas som slutna reglerloopar, vilket de kommer vara i ett autonomt system. Stora fördelar som generellt sett brukar tillskrivas slutna reglerloopar är en hög noggrannhet och möjligheten att direkt kompensera för systemförändringar. Den största nackdelen är risken för instabilitet, som generellt sett ökar ju mer återkoppling och långsammare aktuator som används. Ett sätt att åstadkomma reglering med hög prestanda och goda stabilitetsmarginaler är att tillämpa en intelligent styrstrategi som kan kompensera för en långsam aktuator och systemförändringar genom att använda en modell av

systemet. Detta angreppssätt har dock flera nackdelar, om man ser till hur arbetsmaskinen ska utvecklas, driftsättas och underhållas. Styrstrategin och modellen måste implementeras och fungera tillfredsställande i alla exemplar av en maskinmodell, och dessutom fungera över tid, när systemet kommer förändras på grund av till exempel slitage i komponenter. I detta projekt är tesen snarare att automation kommer underlättas av att hårdvaran görs så att reglerlooparna blir så enkla som möjligt. Enkel innebär i detta fall att regulatorerna har en struktur med låg komplexitet och få parametrar. Detta mynnar ut i ett antal krav på hårdvaran:

- Hög bandbredd hos aktuator:
 - Medför hög respons hos den slutna loopen med bibehållen stabilitet.
 - Tillåter regulator att kompensera för systemförändringar genom återkoppling i stället för detaljerade modeller.
- Hög dämpning hos funktioner:
 - Ger större stabilitetsmarginaler.
- Linjärt system:
 - Minskar behovet av att kompensera för olinjäriteter i mjukvara.

Laboratorietester

I detta projekt har primärt den översta punkten berörts i mer detalj, vilket lett fram till studier av den hydrauliska pilotventilen. Målsättningen har varit att kartlägga snabbheten hos en konventionell ventil och därefter undersöka vinsten av att ha en ventil med snabbare respons. Detta har gjorts med en testrigg i Flumes labb i Linköping. I denna testrigg har en konventionell riktningsventil (Parker L90LS) kopplats in för att styra en cylinder med tröghetslast vilket representerar en generisk hydraulisk funktion i en arbetsmaskin. Figur 2 nedan visar frekvenssvaret då ventilen har matats med en styrström i form av en sinusvåg med varierande frekvens, och dess resulterande styrtryck har uppmätts. Bandbredden (resonansfrekvensen) är indikerad och är ca 11 Hz.



Figur 3: Frekvenssvaret från styrsignal (ström) till styrtryck hos pilotventilen i Parker L90LS.

Automations inverkan på affärsmässiga strategier inom företagen i projektet

Denna fråga visade sig svår att besvara inom ramen för projektet, då automation är ett tämligen abstrakt begrepp som påverkar många sidor av företagens strategier. Det som kan konstateras emellertid, är utvecklingen av arbetsinnehållet hos företagen under de senaste åren. På t ex Parker Hannifin, som primärt utvecklar och tillverkar delsystem, har automationen lett till att större ansvar måste tas för mjukvara. Detta antingen i form av lösningar för kompletta maskiner, eller delsystem med adekvata gränssnitt som underleverantörer kan nyttja i sina egna styrsystem.

6.3 Kravställning på ventilen

I tidigare projektet genomfördes en genomgång av konferenser och journaler under 2000-talet och publicerade resultat med avseende på automation av 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 olinjäriteter, högre säkerhetsbehov och snabbare respons på grund av automation. Dokumentet blir mer komplett om denna matris är med i slutrapporten.

	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

7 Spridning och publicering

Litteraturstudien har mynnat ut i ett utkast på en publikation (bifogad) som kommer färdigställas under hösten och publiceras våren 2024. Denna publikation planeras att synkroniseras med en publikation angående de mer ingående analyserna av pilotventiler. Den ökade förståelsen om den konventionella pilotventiltekniken har spridits till Parker som kommer nyttja detta vid utvärdering och utveckling av nya ventillösningar. Magnus Sethsons mätningar på PS25 har kunnat användas direkt av Parker Hannifin, i Marlon Schwanks arbete med FEM-modellering av ventilens magnetiska krets. Detta har i sin tur varit viktig kunskap för att förstå pilotventilen internt på Parker Hannifin.

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Tanken är att fortsätta med arbetet under hösten och förhoppningsvis ett större forskningsprojekt under 2024.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Ingen publikation är gjord. Utkast på en journalartikel är gjord (bifogad).

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Den reglertekniska analysen av automatiserade rörelser hos arbetsmaskiner har bekräftat pilotventilen som ett begränsade element för att uppnå hög dynamisk prestanda. Mätningarna genomförda i labb har bekräftat den prestanda som ofta antas gälla för pilotventiler i allmänhet. För att möjliggöra optimal energieffektivitet för eldrivna automatiserade rörelser/arbetsfordon krävs en vidareutveckling av de energistyrande ventiler. Experiment kommer fortlöpa under hösten 2023, med huvudsyfte att jämföra pilotventiler med olika dynamik och utvärdera dess prestanda i slutna loop.

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

Viktor Larsson, Sr. Hydraulic Engineer, Mobile Valves

Telefon: 070 147 9286

Email: viktor.larsson@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

10 References

[Machado2021] Machado, T., Ahonen, A., & Ghabcheloo, R. (2021). Towards a Standard Taxonomy for Levels of Automation in Heavy-Duty Mobile Machinery. In Proceedings of ASME/BATH 2021 Symposium on Fluid Power and Motion Control, FPMC 2021 [V001T01A055] American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/FPMC2021-70251>