

# Kontrollsystem för automatisk vagnföljning till skogsvagnar

- modellering, konstruktion, byggnation och test



---

**Måns Lundberg**

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation  
Faculty of Engineering, Lund University

# KONTROLLSYSTEM FÖR AUTOMATISK VAGNFÖLJNING TILL SKOGSVAGNAR

- modellering, konstruktion, byggnation och test

Måns Lundberg

Lunds universitet  
Industriell Elektroteknik och Automation

## SAMMANFATTNING

En traktor med skogsvagn är ett tämligen stort ekipage som i skogen sällan har gott om plats att ta sig fram på. För att göra det möjligt är många skogsvagnar utrustade med en extra led på dragstången, så kallad vagnstyrning. Denna led används för att förskjuta vagnen i sidled och därmed anpassa dess färdväg. Detta är mycket användbart i skogen då det medför att, med rätt inställning, vagnen följer i traktorns hjulspår. Att styra denna led är idag ett manuellt arbete som utförs av föraren.

Detta examensarbete undersöker hur vagnstyrningsleden istället kan kontrolleras av ett styrsystem och därigenom befria föraren från denna uppgift. För att göra detta undersöks först olika principer för detektering av ekipagets färdväg. Av dessa väljs den princip som ger en så enkel och generellt applicerbar lösning som möjligt. Vidare undersöks några matematiska modeller och samband som behövs för att förstå hur vagnstyrningsvinkel ska regleras och hur styrsystemet ska kunna utföra detta. För att verifiera antaganden och modeller görs ett simuleringsprogram. Simuleringstester visar att den valda modellen fungerar för att på rätt sätt justera vagnstyrningsvinkeln - med små avvikelser i svåra situationer. Dessa avvikelser resulterar i en skillnad mellan den önskade färdvägen och den faktiska i storleksordningar på några centimeter.

Ett prototypsystem konstrueras och implementeras på ett fullskaligt skogsekipage för att kunna verifiera resultaten av studien.

Tester visar att prototypsystemet väl klarar att reglera vagnstyrningen för att uppnå ett önskat resultat. De avvikelser som simuleringen visar återfinns även på det riktiga ekipaget, men är så små att det inte begränsar nyttan med automatiseringen. En kritisk faktor som framkom vid testerna är att då vinkeländringen, som styrs hydrauliskt, är långsam krävs det en låg körhastighet för att resultatet ska kunna garanteras. Detta är emellertid inget problem då ekipage i skogen alltid framförs med en låg hastighet.

## ABSTRACT

A tractor with a forest trailer is a large vehicle combination. When it is driven in the woods there is not a lot of space. To make it possible to turn in limited spaces forest trailers are equipped with an extra joint on the drawbar. This is called drawbar steering. This joint changes the geometry of the trailer in order to make it take another path. This feature is very convenient in the forest as with the right settings, this makes the trailer follow the tractor's tracks without requiring any extra space. This joint is currently manually controlled by the driver.

This master thesis investigates how the drawbar steering could be controlled by an automatic control system and remove this task from the driver. To do so, some different principles for trajectory detection is compared. This thesis is focusing on the principle that offers the easiest implementation on an existing forest trailer, even though this may not gives the most exact trajectory information.

The mathematical models and angle relations for the trailer and drawbar are analyzed to understand how the drawbar steering should be adjusted and how a control system could do that. To test and verify these models and assumptions, a simulation program is developed. The simulation tests show that the chosen principle for regulating the drawbar steering works - with just a minor deviation in difficult situations. This deviation results in a difference between the desired and the actual trajectory that reaches a maximum of a few centimeters.

A prototype system is developed and implemented on a full-scale forest trailer to verify the results.

Tests show that the system is able to regulate the drawbar steering to accomplish the desired result. The deviation found in the simulations is seen in the real test case as well, but it is so small that it does not affect the use of the automatization. One limitation that appeared during the tests is that, for the system to work properly it is required that the tractor is driven at low speed. This is because the drawbar steering, that is hydraulically controlled, is moving slowly and will not have time to compensate otherwise. This is however not a problem since a forest trailer is always driven slowly in the woods.

## FÖRORD

Att skriva ett examensarbete kräver vägledning och stöd från många håll. Genom hela arbetet har jag fått stor hjälp av min handledare Gunnar Lindstedt. Stort tack!

Under arbetet med att bestämma modeller och teoretiska samband har jag fått stor hjälp och vägledning från Conny Sjögren. Stort tack!

För att kunna genomföra prototypbyggnationen krävdes rätt komponenter, utbildning, rådgivning och assistans. Jag tillägnar därför ett stort tack till Håkan Lavin och Piotr Lada på Dasa Control Systems, samt Hampus Lavin för att ni möjliggjorde detta.

Tack Sanna för att du alltid tror på mig och för att du stått ut med mina många och långa resor till Växjö som detta examensarbete har medfört.

Slutligen ett tack till Eva Lundberg som visat stort intresse och varit behjälplig under skrivandet av denna rapport. Det har underlättat arbetsprocessen avsevärt.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

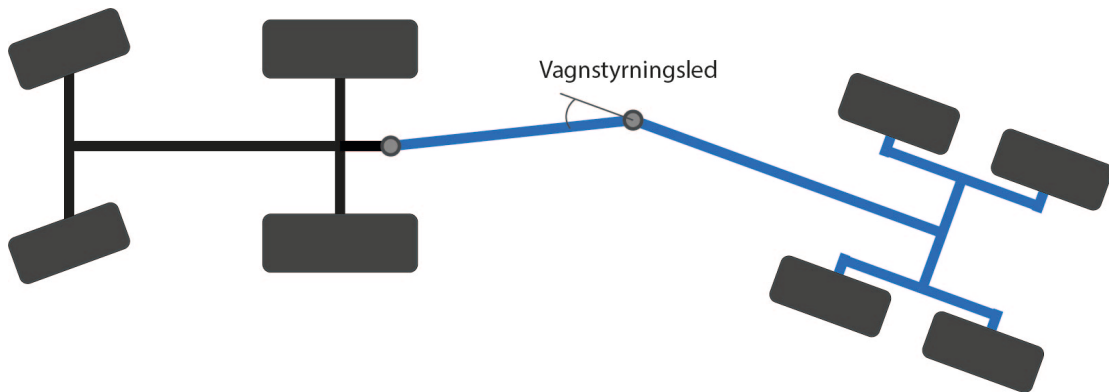
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund	1
1.2 Uppgift	1
1.3 Syfte	2
1.4 Rapportens fortsatta disposition	2
<b>2 Tidigare studier</b>	<b>3</b>
<b>3. Teori</b>	<b>4</b>
3.1 Traditionell vagnstyrning	4
3.2 Automatisk vagnstyrning	4
3.2.1 Fördefinierad körplan	5
3.2.2 Styrvinkel- och hastighetsmätning	5
3.2.3 Dragvinkelmätning	6
<b>4 Metod</b>	<b>7</b>
4.1 Tillvägagångssätt	7
<b>5 Modell</b>	<b>8</b>
5.1 Teoretisk modell	8
5.2 Reglermodell	14
5.3 Simulering	16
Vagnen	18
Regulator	19
Utvärdering	19
<b>6 Kommunikationsprotokoll och ventilstyrningsteori</b>	<b>22</b>
6.1 CAN	22
6.2 Dither	23
<b>7 Konstruktion och implementation av prototypsystem</b>	<b>25</b>
7.1 Vinkelmätning	25
7.2 Kontroller	28
7.3 Användarinteface	29
7.4 Hydraulsystem	29
7.5 Programmering av kontroller	30
7.6 Programmering av skärm	31
CAN-meddelande	34
7.7 Byggnation av prototypsystem	35
7.8 Testning av prototypsystem	39
<b>8 Resultat</b>	<b>40</b>
<b>9 Diskussion och slutsats</b>	<b>42</b>
<b>10 Förslag på fortsatt arbete</b>	<b>44</b>
<b>11 Referenser</b>	<b>45</b>
<b>Bilagor</b>	<b>46</b>
Bilaga 1 – datablad kontroller	46
Bilaga 2 – Datablad display	48

# 1 INLEDNING

## 1.1 BAKGRUND

Att framföra en traktor med skogsvagn i skogen är ett komplicerat arbete som ställer stora krav på kunskap, skicklighet och erfarenhet hos föraren. Terrängen är vanligtvis svår med skiftande underlag och det finns sällan gott om utrymme för att passera mellan träd och stenar. När man svänger med ett sådant ekipage tar dessutom vagnen innerkurvan och skär därmed svängen, vilket kräver ännu mer plats.

För att kunna svänga med ekipaget på riktigt smala skogsvägar eller i skog är de flesta skogsvagnar idag utrustade med en extra led på dragstången. Denna led är manuellt kontrollerad via hydraulik och låter föraren ställa draget i en vinkel som, om den används rätt, motverkar att vagnen tar ett innerspår. Denna funktion kallas vagnstyrning och åskådliggörs i figur 1.



Figur 1, Schematisk bild av en traktor och skogsvagn med vagnstyrningsled

En av föraren perfekt utförd reglering kan alltså få vagnen att precis följa traktorns hjulspår och inte ta någon extra plats i skogen. Därigenom undviker man att kollidera med träd eller andra hinder och minimerar på så sätt skador på både skog och fordon. För att detta ska fungera kräver det i dagsläget att föraren har ständig uppsyn över vagnen bakom sig för att vid exakt rätt tillfälle och på rätt sätt justera vagnstyrningen manuellt.

## 1.2 UPPGIFT

Målet med detta projekt är lyfta bort momentet att manuellt reglera vagnstyrningen från föraren och istället låta ett kontrollsystem hålla reda på vagnen och se till att den följer traktorn perfekt. För att detta ska kunna ske automatiskt behöver ett styrsystem skapas och implementeras. Systemet måste fungera så att det med hjälp av sensorer kan bestämma hur traktorn färdas och hur vagnen då kommer följa efter. Därigenom ska systemet kunna bestämma den förväntade avvikelserna och vilken vagnstyrningsvinkel som kompenserar denna.

Vagnstyrningssystemet ska vara fristående, enkelt och ekonomiskt möjligt att byggas på befintliga skogsvagnar.

Det ska snabbt kunna anpassas för varje fordonskombination oberoende av märke och modell.

Systemet måste ha någon form av interface för användaren att kommunicera med för att möjliggöra att stänga av systemet och köra vagnstyrningen manuellt när föraren så önskar.

### 1.3 SYFTE

Projektet syftar till att förenkla det vardagliga arbetet med tunga ekipage i skogen. Med hjälp av lösningen som projektet redovisar kan föraren avlastas, vilket ger en inte försumbar arbetsmiljövinst och gör att misstag som leder till körskador kan minimeras. Vidare ska projektet ge förslag på en prisvärd och påbyggnadsbar lösning till befintliga ekipage och därmed lämpa sig även för småskaligt skogsbruk.

### 1.4 RAPPORTENS FORTSATTA DISPOSITION

**Kapitel 2** – I detta kapitel redovisas några vetenskapligt relevanta arbeten för projektet och några besläktade konstruktioner på jordbruksmaskiner.

**Kapitel 3** – Det ursprungliga vagnstyrningssystemet presenteras. Olika teorier om hur ett styrsystem ska detektera färdvägen utreds och den mest lämpliga metoden för detta projekt väljs.

**Kapitel 4** – I detta kapitel redovisas metod och tillvägagångssätt för utvecklingsarbetet i projektet.

**Kapitel 5** – En teoretisk modell över ett skogsekipage upprättas. Denna används sedan för att utreda på vilket sätt en reglering ska implementeras. För att utvärdera modellen skapas ett simuleringsprogram.

**Kapitel 6** – Kort teorikapitel med begrepp som behövs för att förstå konstruktionen av prototypsystemet.

**Kapitel 7** – Konstruktion och implementation av prototypsystem. Här presenteras prototypsystemets komponenter och varför dessa används. Vidare beskrivs byggnationen av systemet och hur testning genomförs.

**Kapitel 8** – Kort kapitel där resultaten av arbetet presenteras.

**Kapitel 9** – Resultaten i kapitel 8 diskuteras mot bakgrund av teori och uppgift.

**Kapitel 10** – I detta kapitel diskuteras förslag på fortsatt arbete. Här nämns områden som inte tagits upp i detta arbete samt förslag på vidare utveckling och tänkbara förbättringar.



## 2 TIDIGARE STUDIER

Rapporter som redovisar vetenskapliga studier med direkt relevans är för detta projekt är inte så många.

Szakacs, T [1], har tagit fram en matematisk modell för att beskriva hur ett släp följer sitt dragfordon då detta svänger. Denna modell bygger på Ackermans villkor för fordonståg. I rapporten presenteras också verkliga tester av modellen vilken överensstämmer väl med det faktiska beteendet. Detta arbete är gjort för att kunna beräkna stabilitet för fordonskombinationer men det använder sig inte av vagnstyrning eller någon annan form av reglering. Det är dessutom begränsat till fallet då ett ekipage börjar sin färd längs en rät linje för att sedan börja svänga längs en konstant cirkel.

Dillman, C m.fl. [2] visar hur man genom att detektera vinkeln mellan traktor och vagn kan förutse hur ekipaget svänger och där igenom kontrollera de styrbara hjulaxlarna på multiaxlade släp på ett optimalt sätt. Detta visar att avläsning av denna vinkel ger tillräckligt mycket information om hur ekipaget svänger för att kunna kontrollera styrningen av vagnen. I detta projekt är det samma mätdata som används men med en annan tillämpning.

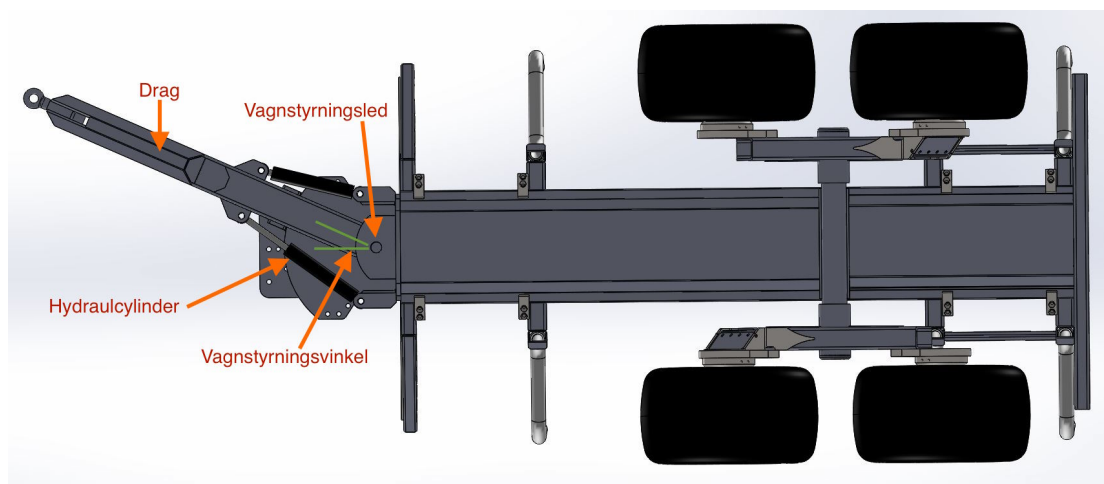
I övrigt verkar ämnesområdet hanteras av de kommersiella aktörerna inom främst tillverkning av jordbruksmaskiner, där det finns liknande konstruktioner för att uppnå samma resultat. Till exempel redovisar företaget John Deere ett av dem utvecklade system som elektrohydrauliskt ställer in vagnstyrningen på rätt sätt [3]. Detta system bygger dock på att avståndet mellan traktorns bakaxel och vagnstyrningsleden är precis lika långt som avståndet från leden till vagnens axel. Det är då givet enligt Ackermans villkor att vinkeln mellan traktor och drag ska vara noll. Detta medför att både vinkeldetektering och reglering blir enklare. Detta går emellertid inte att applicera på ekipage som saknar detta speciella förhållande.

*iTILL* är ett system för såmaskiner vars uppgift är att med hög precision placera frö så nära förra årets grödors rotsystem som möjligt. Tekniken som detta system använder för att positionera såmaskinen är en vagnstyrningsled som regleras av ett styrsystem. I det här fallet används inte systemet för att styra vagnen efter traktorns spår utan för att styra maskinen efter fjolårets sårader [4].

## 3. TEORI

### 3.1 TRADITIONELL VAGNSTYRNING

Ett traditionellt vagnstyrningssystem som återfinns på de allra flesta skogsvagnar består i huvudsak av tre delar. En led på dragstången, en eller två hydraulcylindrar som styr denna led, samt ett hydraulsystem som reglerar oljan till cylindrarna. Dessa delar är markerade i figur 2.



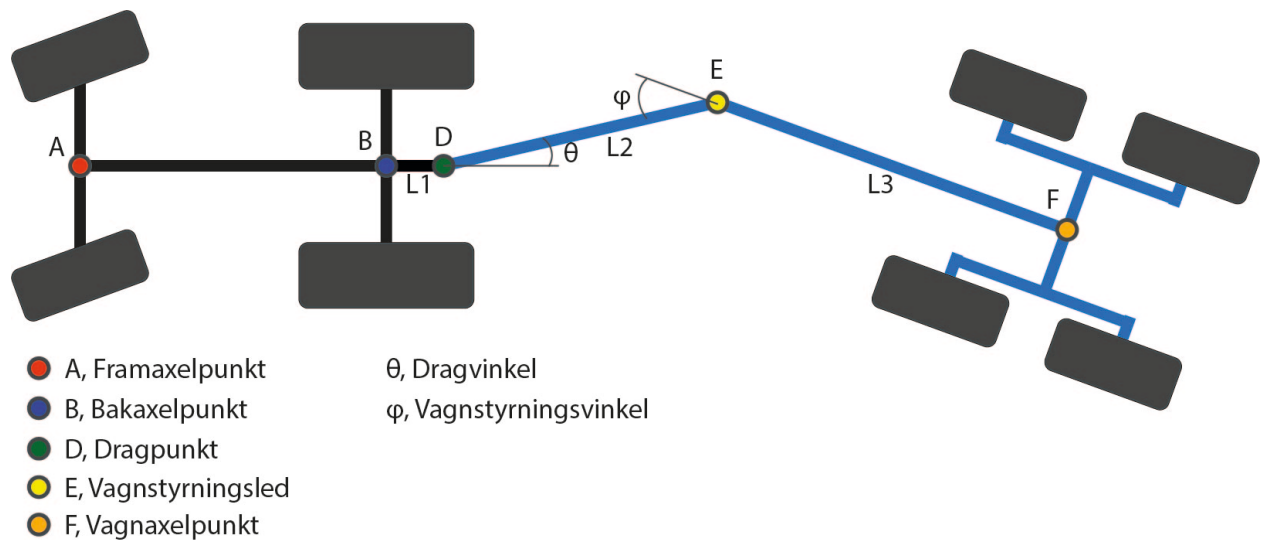
Figur 2, CAD-bild av en skogsvagn underifrån. Vagnstyrningens komponenter är markerade.

Principen bygger på att man genom att flytta vagnens dragpunkt i sidled också förskjuter vagnens färdväg. Hur mycket man flyttar denna avgörs idag av föraren genom att denna tittar bakåt och uppskattar vagnens färdväg.

Vissa skogsvagnar har ett eget hydraulsystem, bestående av en oljetank och en hydraulpump som drivs via traktorns kraftuttag. Detta system kan då användas till vagnstyrningen men det är betydligt vanligare att använda traktorns inbyggda hydraulsystem. Skälet är att vagnens system ofta stängs av när vagnens kran inte används medan vagnstyrningen måste kunna användas hela tiden.

### 3.2 AUTOMATISK VAGNSTYRNING

För att vidare utveckla konceptet med vagnstyrning måste först några vinklar, punkter och längder definieras och namnges. Beteckningarna i figur 3 nedan kommer framgent användas i denna rapport.



Figur 3, Schematisk bild av en traktor och skogsvagn. Dessa definitioner och namn av punkter, leder, vinklar och längder används framgent i denna rapport.

För att åstadkomma automatisk vagnstyrning ska ett styrsystem ta över förarens uppgift att bestämma vilken vagnstyrningsvinkel som ger en korrekt färdväg. Om detta ska kunna fungera behöver systemet på något sätt kunna avläsa vad som händer under körningen, hur traktorn och vagnen rör sig i förhållande till varandra och vilken bana vagnen förväntas färdas längs, jämfört med traktorns färdväg. Denna mätning ska alltså ersätta förarens visuella inspektion som ligger till grund för hur denna styr vagnstyrningen.

Nedan följer tre principer för automatisk vagnstyrning.

### 3.2.1 FÖRDEFINIERAD KÖRPLAN

Det absolut bästa vore om styrsystemet redan på förhand hade information om hur ekipaget kommer att färdas. Då kan systemet beräkna traktorns rörelse och anpassa vagnen för att precis stämma överens med den. På sätt och vis är det denna princip som gäller när vagnstyrningen sker manuellt. Föraren ser i förväg de kurvor som kommer eller de hinder som måste undvikas. Föraren kan då styra ut vagnen och dessutom kompensera för trögheter eller fördröjningar i systemet som alltid finns. Detta är emellertid omöjligt för ett styrsystem att automatisera. Helt andra fordonssituationer eller transportsystem skulle eventuellt kunna bygga på denna princip. T.ex. om själva dragfordonet styrs efter en given väg eller karta.

### 3.2.2 STYRVINKEL- OCH HASTIGHETSMÄTNING

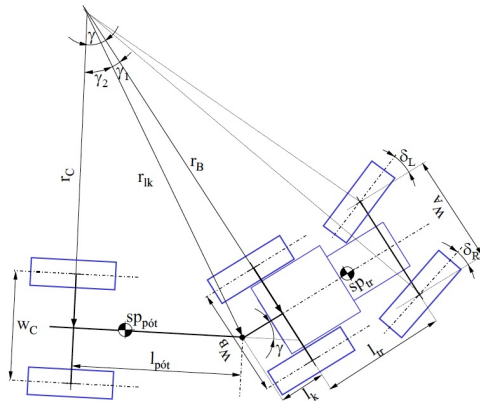
Ett mer tänkbart angreppssätt är att mäta hur föraren styr, eller kanske mer praktiskt, framhjulsvinklarna. Denna information kan i kombination med traktorns hastighet entydigt bestämma hur traktorn rör sig. Uppgiften för styrsystemet blir då att på bästa sätt matcha vagnens bana med den då kända traktorbanan. Detta är, till skillnad från det första principen, genomförbart. Det är tänkbart att vissa fordonssystem till och med kan tillhandahålla denna information.

Tanken med detta projekt är emellertid att i största möjliga mån undvika installationer på dragfordonet. Detta skulle göra systemet svårare att använda, då ett byte av traktor i så fall

skulle innebära en nyinstallation av mätsystemet. Traktorer finns i en nära oändlig variation av märken och modeller och att konstruera en mätare som passar alla får anses vara omöjligt.

### 3.2.3 DRAGVINKELMÄTNING

Att mäta vinkeln mellan traktorn och vagnens drag, dragvinkeln, är en tredje möjlighet. Detta angreppssätt bygger på Ackermanns villkor för fordonståg vilket illustreras i figur 4. [1]



Figur 4, Illustration av Ackermanns villkor. Hämtad från [1]

Detta villkor säger att då ett fordon svänger längs en konstant cirkel, pekar alla hjul vinkelrät mot svängradiens centrum. Detta kallas ett stationärt fall vilket medför att då svängradien är känd kan dragvinkeln beräknas. Omvänt betyder detta att med en känd dragvinkel kan svängradien beräknas. Denna metod ger alltså en entydigt bestämd lösning, men bara i det stationära fallet. Då detta är en mer önskvärd lösning skall det vidare utredas huruvida denna detektionsmetod kan användas för att få en bra reglering även i det dynamiska fallet. I fallet med vagnstyrning, dvs. med en extra led på dragstången, får dragvinkeln en mer komplicerad relation till svängradien men informationsvärdet i dragvinkeln visar sig vara tillräcklig. Vidare utredning och modellering redovisas i kapitel 5.

## 4 METOD

I *Metod för teknologer* [5] förespråkar Blomkvist och Hallin en modell för examensarbete som bygger på samma princip som gäller för arbetet med att designa eller konstruera en produkt. Ett examensarbete ska enligt författarna arbetas fram stegvis och i "dialog med intressenterna", vilket i detta fall är både akademien och skogsbrukare.

Fas 1 Formulera, innebär att uppgiften analyseras tekniskt-vetenskapligt, ekonomiskt, miljömässigt, användarmässigt etc. och läggs fast. Till detta steg hör även inläsning av litteratur – tidigare forskning och teori - och formuleringen av ett rimligt syfte. Fas 2 Konstruera, avser själva genomförandet, att välja och lägga upp en plan för arbetet och genomföra det på ett vetenskapligt systematiskt sätt. Fas 3 Producera, handlar om att skriva, att skapa den akademiska uppsatsen.

Viktigt är att i varje fas ta hänsyn både till akademins krav på vetenskaplighet och till de externa intressenternas krav på nytta. Genom ett sådant arbetssätt är det möjligt undvika alltför akademiskt triviala problem och lösningar som inte passar brukarna.

### 4.1 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT

Efter inledande diskussioner med yrkesverksamma skogsbrukare och mekaniker i skogsvagnsbranschen genomfördes en litteraturgenomgång. Detta för att hitta vetenskapliga studier, liknande eller besläktade arbeten samt teoretiska utgångspunkter som stöd för projektets upplägg och genomförande.

Därefter genomfördes en utredning för att fastställa ett tillvägagångssätt för att lösa uppgiften. Detta innefattar en genomgång av ekipagets geometri för att kartlägga vilka samband som råder. Det utreds även vad som behöver kunna mätas och hur denna information ska omvandlas till styrsignaler. Flera tillvägagångssätt diskuteras och det som är mest lämpat för uppgiften väljs.

För att testa och verifiera beräkningar och antagande skapades ett simuleringsprogram som i grunden bygger på matematiska beräkningar av fordonens geometri. Detta visar på ett grafiskt sätt hur ett skogsekipage färdas beroende på styrvinklar och vagnstyrningsledens läge. På så sätt kan modellen testas, trimmas och utvärderas innan systemet realiseras.

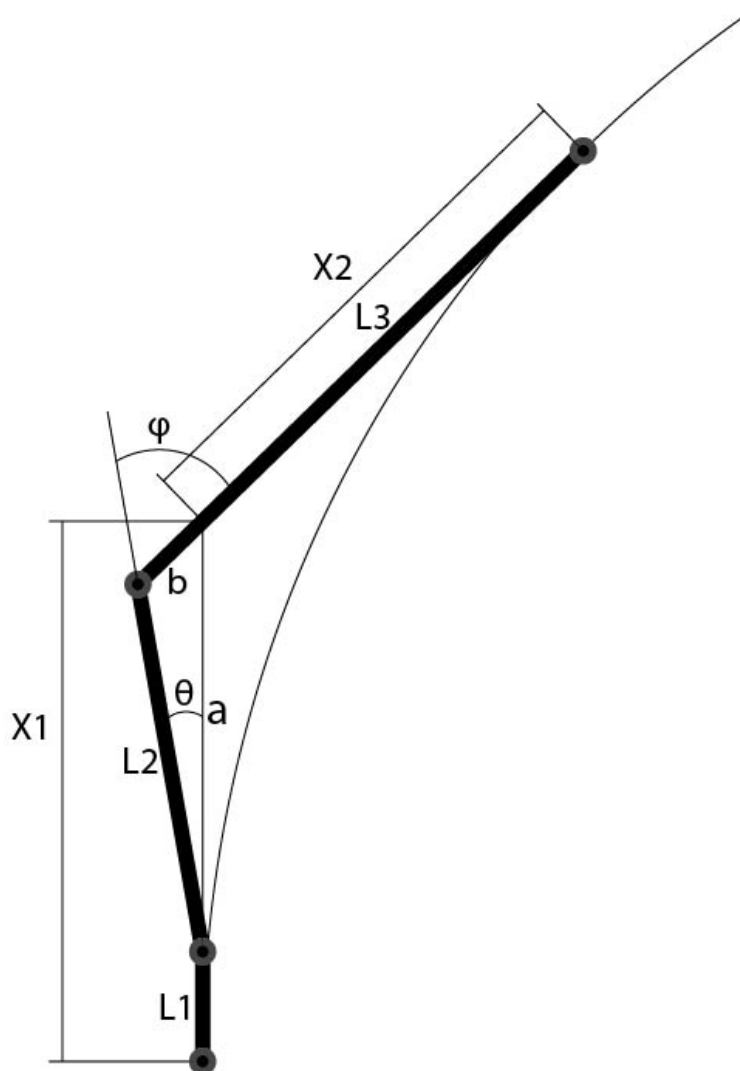
För att vidare testa modellen konstruerades ett prototypsystem. Detta monteras sedan på en fullskalig skogsvagn för att kunna testa det praktiska resultatet av studien.

## 5 MODELL

### 5.1 TEORETISK MODELL

Som tidigare diskuterats är det önskvärt att bara mäta de två vinklarna på vagnen och använda den stationära modellen av en vagns rörelse. För att kunna använda detta i fallet med en vagnstyrningsled måste först en optimal relation mellan de båda vinklarna och svängradie härledas.

Som tidigare visats med Ackermans villkor kommer alla hjulaxlar svänga runt samma svängradiecentrum i en stationär situation. Det som skiljer de olika axlarna är svängradien. En släpvagn kommer naturligt att ta innerkurvan och alltså få en mindre svängradie. Vid en perfekt reglering av vagnstyrningen ska traktorns bakaxel och vagnens hjulaxel ha samma svängradie och där igenom få samma bana. Detta kan illustreras med en cirkelbana där vagnen och traktorn är tangenter till denna cirkelbana. En geometrisk uppställning av det önskade läget återfinns i figur 5.



Figur 5. Geometrisk uppställning av ett läge då vagnen precis följer traktorns spår.

I ett korrekt reglerat läge bildar  $L_1$  och  $L_3$  två tangenter till den cirkulära banan. Tangenterna skär i så fall varandra i en punkt så att avståndet till respektive axelpunkt  $X_1$  och  $X_2$  blir lika långa.

$$X_1 = X_2 \Rightarrow L_1 + a = L_3 - b$$

$$\frac{\sin(\pi - \varphi)}{a} = \frac{\sin(-\theta)}{b} = \frac{\sin(\varphi + \theta)}{L_2}$$

$$a = \frac{L_2 * \sin(\varphi)}{\sin(\varphi + \theta)} \quad b = \frac{L_2 * \sin(-\theta)}{\sin(\varphi + \theta)}$$

$$L_1 + a = L_3 - b \Rightarrow L_1 + \frac{L_2 * \sin(\varphi)}{\sin(\varphi + \theta)} = L_3 - \frac{L_2 * \sin(-\theta)}{\sin(\varphi + \theta)}$$

$$\Rightarrow (L_3 - L_1) * \sin(\varphi + \theta) = L_2 * (\sin(\varphi) + \sin(\theta)) \quad (1)$$

Sambandet (1) resulterar alltså i en relation mellan theta och phi. Detta betyder att för varje svängradie finns en vinkel theta och en vinkel phi som precis ger detta önskade utfall. Detta kan beskriva  $\varphi$  som en funktion av  $\theta$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  och  $L_3$ .

$$\varphi = \pm \text{sign}(\theta) * \arccos\left(\frac{2 * L_2 * (L_1 - L_3) + (L_1^2 + L_2^2 - 2 * L_1 * L_3 + L_3^2) * \cos(\theta)}{L_1^2 + L_2^2 - 2 * L_1 * L_3 + L_3^2 + 2 * L_2 * (L_1 - L_3) * \cos(\theta)}\right)$$

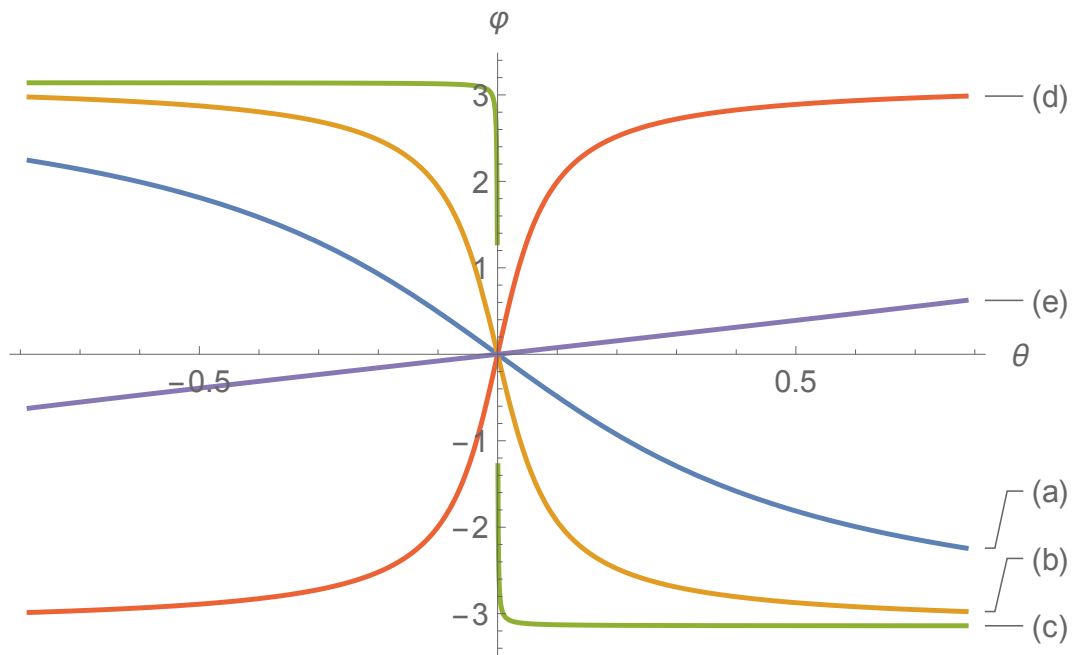
Detta kan förenklas på följande sätt.

$$\varphi(\theta, L_1, L_2, L_3) = \pm \text{sign}(\theta) * \arccos\left(\frac{A + B * \cos(\theta)}{B + A * \cos(\theta)}\right) \quad (2)$$

där

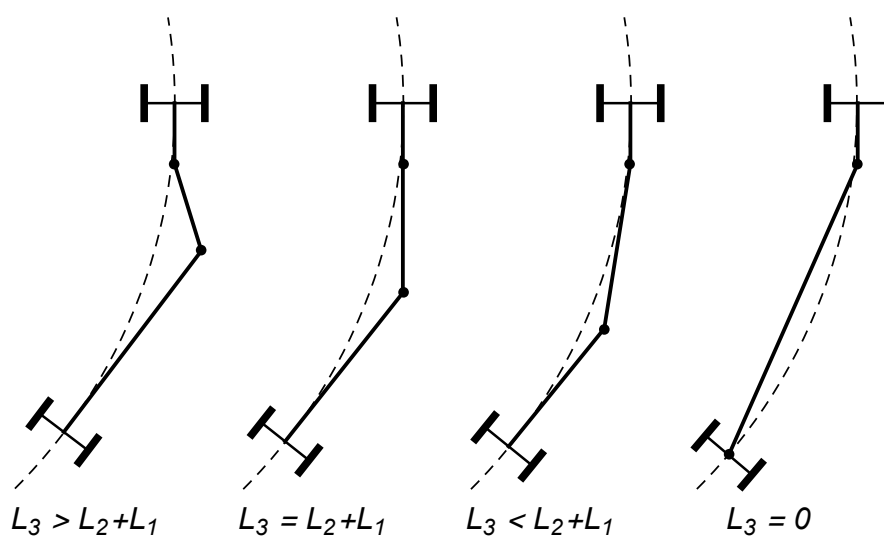
$$A = 2 * L_2 * (L_1 - L_3) \quad B = (L_1 - L_3)^2 + L_2^2$$

Som visas beror denna funktion på theta som variabel och  $L_1$ ,  $L_2$  och  $L_3$  som konstanter. Nedan plottas funktionen för några olika värden på  $L_1$ ,  $L_2$  och  $L_3$ . Funktionen kallas för "S-kurva" i texten som följer. Beroende på de inbördes relationerna mellan längderna  $L_1$ ,  $L_2$  och  $L_3$  fås olika principer för vagnstyrningen vilket resulterar i olika S-kurvor. Dessa olika S-kurvor visas i figur 6.



Figur 6. Graf med S-kurvor för olika längdförhållanden

Kurva (a) visar en situation när  $L_3 > L_2 + L_1$ . Om  $L_3$  närmar sig  $L_2 + L_1$  blir kurvan brantare (b). Kurva (c) visar fallet  $L_3 = L_2 + L_1$ . Kurvan blir då lodrät vilket innebär att theta blir noll i det intressanta området. Detta motsvarar specialfallet som John Deere använder sig av, vilket diskuteras i kapitel 2 [3]. I fallet när  $L_3 < L_2 + L_1$  skiftar kurvan sida (d). Detta innebär att de bägge ledvinklarna alltid har samma tecken vid en korrekt reglerad placering av vagnen. Ett speciellt fall inträffar då  $L_3 = 0$ , kurva (e). Detta svarar mot en konstruktion där vagnens axel är vridbar eller då axelns hjul är styrbara [2]. Dessa olika fall illustreras i figur 7 nedan.

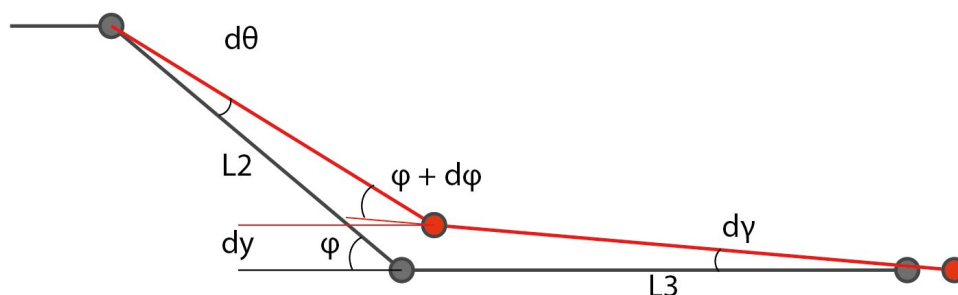


Figur 7. Ovan nämnda fall. Från vänster, (a), (c), (d) och (e).



En godtycklig körbana kan beskrivas som en uppsättning av olika cirkelbanor med varierande radie. Traktorn följer med andra ord i varje ögonblick en viss cirkelbana och det är då önskvärt att vagnens vinklar ska ligga på den punkt som motsvarar denna. Denna punkt är inte på förhand känd varken i det statiska eller i det dynamiska fallet då mätningar endast görs på vagnens vinklar. En för ögonblicket felaktigt ställd vinkel phi kommer att resultera i att theta glider iväg från kurvan eller förblir i en position utanför kurvan. Målet är då att hitta den vagnstyrningsvinkel phi så att theta förblir fix och kombinationen phi-theta ligger på kurvan. Då vagnen färdas en bit efter traktorn återfinns en naturlig fördröjning. Om man antar att denna sträcka är tillräcklig för att vagnen ska svänga in sig någorlunda rätt så kan en nästan rätt svängradie beräknas från vinkelmätningarna. Med detta resonemang skulle det gå att behandla alla ögonblick som statiska med ett förhoppningsvis litet fel som följd. Även om den exakta radien var känd så kan styrsystemet ändå bara reglera vinkeln phi. Theta är ett resultat av phi och ekipagets tidigare färdväg. Om man då ställer in phi efter en exakt radie så skulle avvikelsen i theta bero på tidigare felregleringar som då har gett vagnen en något felaktig position. Om antagandet att felet blir litet görs kan man bortse från detta och istället säga att regleringen ska ske så att vinklarna träffar en punkt på S-kurvan ovan. För att göra detta kan man i varje ögonblick identifiera var i grafen man befinner sig och hur stor avvikelsen är. Om denna position inte är på S-kurvan är det då önskvärt att bestämma hur, genom att styra vagnstyrningsvinkeln, detta kan åtgärdas.

En aktiv ändring av vagnstyrningsvinkeln phi medför också alltid en ändring i dragvinkeln theta. Figur 8 visar en styrd förändring av vagnstyrningsvinkeln från  $\varphi$  till  $\varphi + d\varphi$ .



Figur 8. Schematisk figur som visar hur vagnen förflyttas då vagnstyrningen vinkel ändras.

Längderna  $L_2$  och  $L_3$  sträcker sig mellan kopplingspunkten och vagnens axelpunkt. En ändring av vagnstyrningsvinkeln medför därför också en relativ förskjutning av dessa båda punkter på något sätt. Det kan antas att det är den bakre, axelpunkten, som förskjutits medan kopplingspunkten är fast. Axelpunkten kan bara förskjutas (infinitesimalt) i vagnens riktning,  $L_3$ . Ur figuren framgår att relationen mellan vinkelförändringar kan skrivas:

$$d\varphi = -d\theta - d\gamma \quad (3)$$

Denna relation är oberoende av initialvärdet på theta.

För ledpunktsförflyttningen gäller följande.

$$dy = L_2 * \cos(\varphi) * d\theta$$

Vilket i sin tur ger.

$$L_3 * \sin(d\gamma) = dy = L_2 * \cos(\varphi) * d\theta$$

För små  $d\gamma$  kan detta skrivas som:

$$d\gamma = \frac{L_2}{L_3} * \cos(\varphi) * d\theta$$

Detta kan nu skrivas om, med hjälp av ekvation (3).

$$d\varphi = -\left(1 + \frac{L_2}{L_3} * \cos(\varphi)\right) * d\theta$$

$$\Rightarrow \frac{d\varphi}{d\theta} = -\left(1 + \frac{L_2}{L_3} * \cos(\varphi)\right) \quad (4)$$

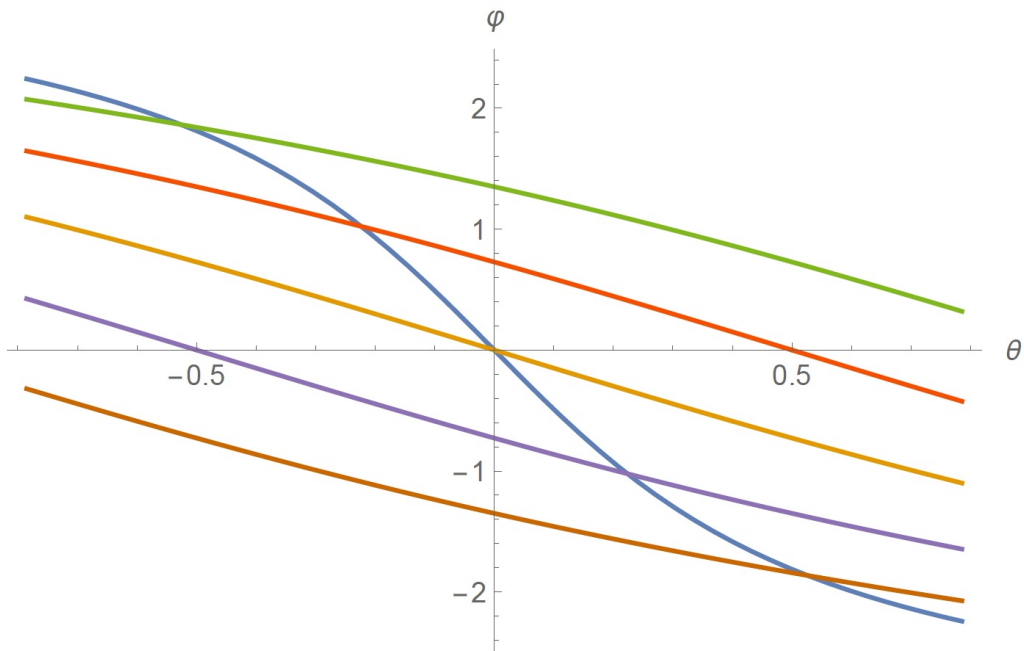
Denna differentialekvation löses med t.ex. Mathematica och beroende på valet av  $L_2$  och  $L_3$  fås tre olika lösningar.

$$(L_3 > L_2): \varphi(\theta) = -2 * \arctan\left(\frac{\sqrt{L_3^2 - L_2^2} * \tan\left(\frac{\sqrt{L_3^2 - L_2^2} * \theta}{2 * L_3}\right)}{L_3 - L_2}\right) \quad (5)$$

$$(L_3 = L_2): \varphi = -2 * \arctan(\theta) \quad (6)$$

$$(L_3 < L_2): \varphi = -2 * \arctan\left(\frac{\sqrt{L_2^2 - L_3^2} * \tanh\left(\frac{\sqrt{L_2^2 - L_3^2} * \theta}{2 * L_3}\right)}{L_2 - L_3}\right) \quad (7)$$

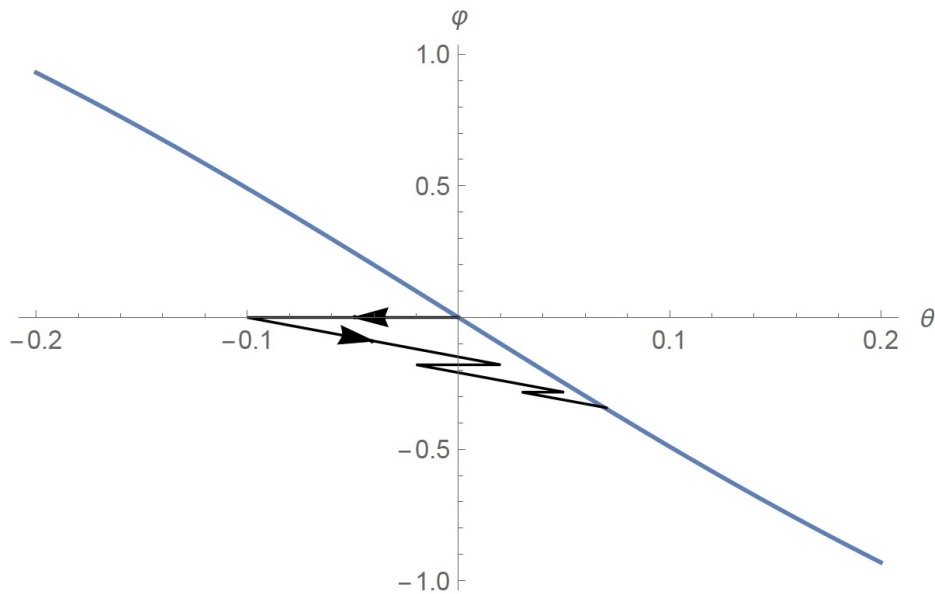
Som noterades ovan är uppställningen oberoende av initialvärdet på theta vilket gör att kurvskoror kan bildas.  $\theta = \theta + \text{konstant}$



Figur 9. Plot av fallet  $L3 > L2$ , dvs. ekvation (5), vilket är det vanligast förekommande. De andra fallen får liknande resultat.

Denna relation beskriver alltså hur de bägge vinklarna förändras när en aktiv förändring av vagnstyrningsvinkeln görs. Dessa kurvor kallas framgent i rapporten för förflyttningskurvor och exempel på dessa tillsammans med en S-kurva plottas i figur 9. Huvudmålet är att hela tiden söka sig mot S-kurvan genom att ändra vagnstyrningsvinkeln  $\phi$ . När ekipaget ändrar sin färdväg kommer  $\theta$  att glida iväg från S-kurvan längs en horisontell linje i grafen, eftersom  $\phi$  är fixerad till dess en aktiv ändring görs.

För att illustrera hur vinkelförhållandet rör sig då ekipagets färdriktning ändras kan detta göras med stora steg.

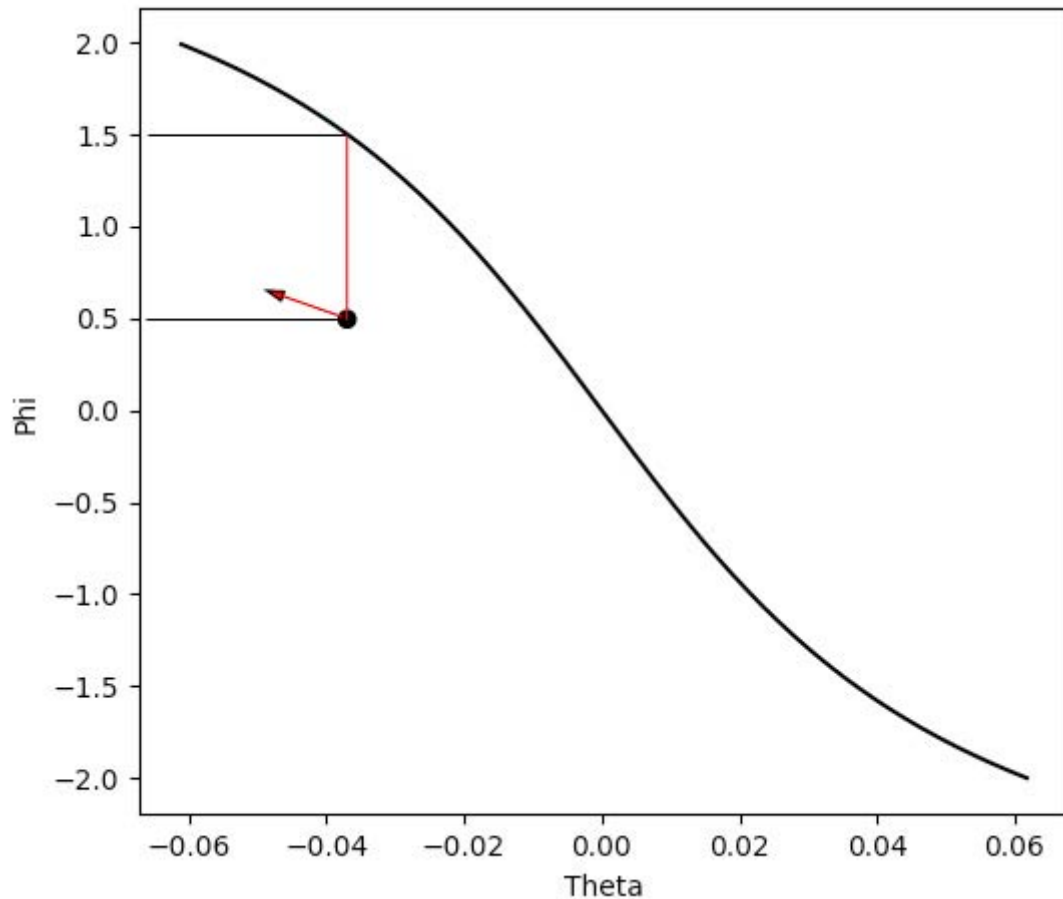


Figur 10. Exempel på hur vinkelförhållandet lämnar S-kurvan för att sedan söka sig tillbaka.

Figur 10 visar alltså hur theta glider iväg horisontellt då ekipaget ändrar sin färdväg. Reglersystemet styr då vagnstyrningsvinkeln längs den nyss nämnda enda möjliga färdvägen. Riktningssändringen fortsätter att skjuta vinkelförhållandet horisontellt och systemet fortsätter att söka sig tillbaka till S-kurvan tills denna nås. På detta sätt kommer vagnen sträva efter att uppfylla det stationära kriteriet perfekt för momentana stationära förhållanden.

## 5.2 REGLERMODELL

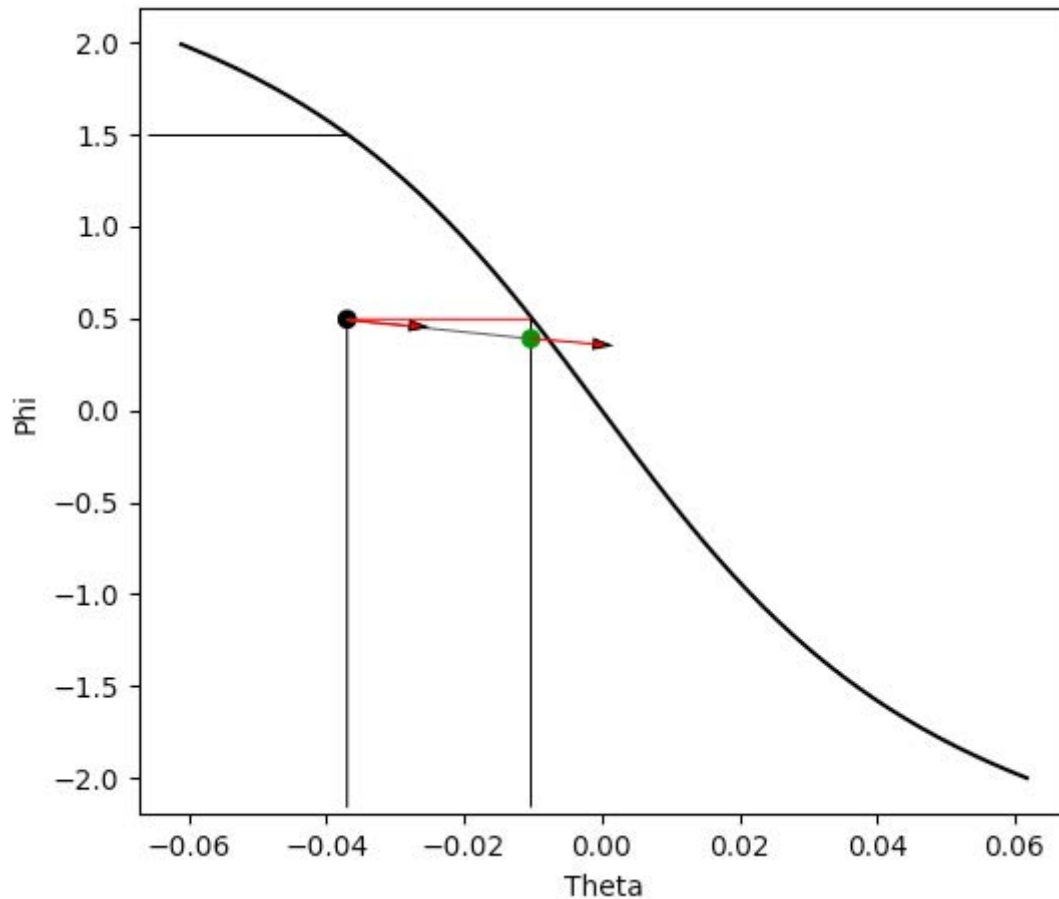
För att en regulator ska kunna reglera detta behöver vissa resonemang genomföras. Om det utgås från ett godtyckligt läge där vinkelförhållandet inte ligger på S-kurvan kan taktiker för att återgå till ett önskat förhållande jämföras. Det samband mellan theta och phi som ger upphov till S-kurvan kan också användas till att för ett givet theta, beräkna vad phi då bör vara. Detta skulle kunna användas som börvärde till en regulator.



Figur 11. Resultande förflyttning med phi som referens.

Som figur 11 visar skulle det uppmätta värdet på phi vara ca 0.5 rad och det beräknade börvärdet vara ca 1.5 rad. Om phi justeras mot detta värde kommer vinkelförhållandet att gå i den röda pilens riktning enligt tidigare resonemang om förflyttningskurvorna. Detta är som bilden visar inte alls i rätt riktning och vinkelförhållandet kommer inte att nå S-kurvan. För att detta ska fungera måste därför istället en förflyttningskurva som skär vinkelförhållandet beräknas för att sedan bestämma var denna skär S-kurvan. I denna skärningspunkt fås då ett referensvärde för phi som kan användas som börvärde. Denna princip är emellertid omständlig och krävande beräkningsmässigt. Därför testas istället att använda theta som börvärde och sedan korrigera phi med hjälp av ekvation (4) direkt.

Om samma fall används men systemet istället försöker hitta ett theta som passar det aktuella phivärdet blir bilden lite annorlunda vilket illustreras i figur 12.



Figur 12. Resultande förflyttning med theta som referens.

Med denna princip blir börvärdet ca 0.01 rad. Systemet kan bara styra phi men om detta görs med hjälp av ekvation (3) så att theta når det nya börvärdet kommer vinkelförhållandet att hamna i den gröna markeringen. Detta är inte precis på S-kurvan men väldigt nära. Med ett par iterationer kommer vinkelförhållandet åter igen ligga på S-kurvan. Denna princip är inte exakt men på grund av att förflyttningskurvorna är nästan horisontella blir felet litet. Ett annat argument för att använda denna förenklade princip istället för den mer exakta som nämndes ovan är att under förflyttningen är det troligt att ekipagets rörelse ändrar vinkelförhållandet så att det nyss uträknade börvärdet ändå inte gäller. I denna process är samplingstiden hög i förhållande till processens hastighet. Det gör att denna metod är mer lämplig.

### 5.3 SIMULERING

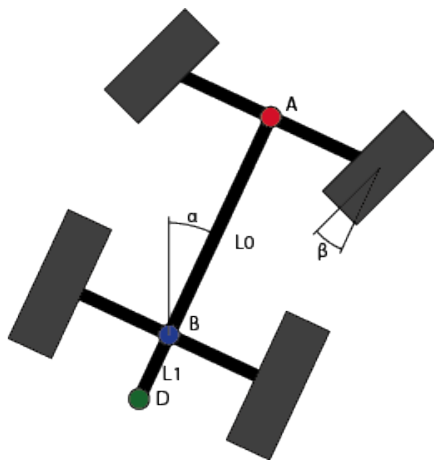
För att testa och verifiera dessa antagande och olika reglerprinciper skapas ett simuleringsscript. Detta skrivs i *Python* och för att visualisera resultatet används ett plug-in som heter *Pygame*; ett grafikbibliotek som vanligen används för att utveckla spel. Tanken med detta är att simulera hur en traktor och vagn färdas med styrvinkel och hastighet som in-parametrar. Det ska även gå att reglera vagnstyrningsvinkeln med en regulator för att kunna testa olika reglerprinciper.

Geometrin utgår från Ackermans villkor. För att hitta ett sätt att beskriva denna rörelse i det dynamiska fallet görs en uppställning av problemet som bygger på att ta små steg och där igenom att bestämma i vilken riktning och hur långt de olika punkterna rör sig. Detta sätt kallas finita differensmetoden.

### TRAKTORN

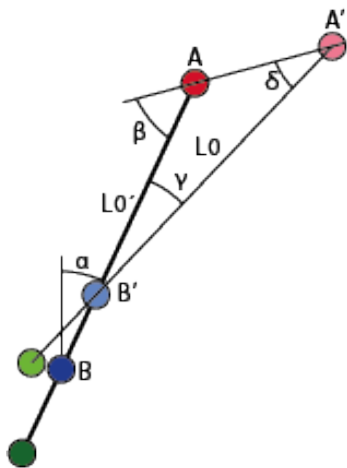
Traktorn definieras av en punkt, B, som utgör centrum för dess bakaxel samt vinkeln  $\alpha$ , vilket är en global vinkel som beskriver traktorns momentana färdriktning.

Vidare kan framaxelns punkt, A och hitchkrokens punkt, D också beräknas då dessa ligger längs riktningen  $\alpha$  från punkten B. Traktorns punkter och vinklar illustreras i figur 13.



Figur 13. Definition av traktorns punkter och vinklar.

Då framhjulen styrs till en vinkel  $\beta$  och traktorn tar ett litet steg framåt kan punkternas förflyttning bestämmas vilket åskådliggörs i figur 14. Då steget är litet kan bakaxelns punkt, B, antas röra sig helt i alfa-riktningen medan framaxelns punkt A, rör sig i riktningen  $\alpha+\beta$ . Den nya punkten B' kan enkelt beräknas genom att bara välja en steglängd, t.ex.  $v \cdot dt$ , där  $v$  är hastigheten och  $dt$  är ett litet tidssteg. För att beräkna den nya vinkeln  $\alpha$  och där igenom punkten A' kan en triangel skapas.



Figur 14. Traktorns förflyttning vid ett steg.

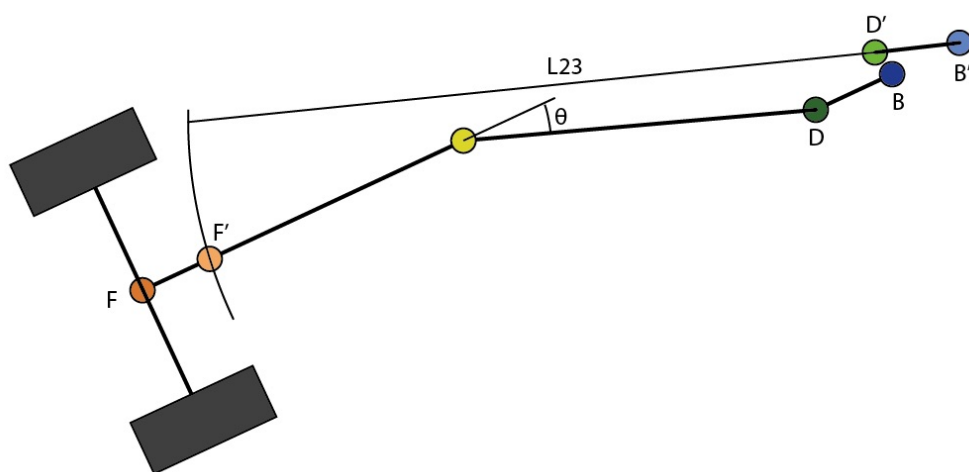
Längden  $L_0$  är känd och den motstående vinkeln  $\pi - \beta$ . För att bestämma ett nytt värde på  $\alpha$  måste en sträcka till bestämmas.  $L_0'$  kan beräknas med Pythagoras sats då  $B'$  och  $A$  är kända. Detta ger med sinussatsen vinkeln  $\delta$  och där igenom  $\gamma$  som också kan kallas  $\Delta\alpha$ . Med en ny vinkel alfa kan hitchkrokens nya position,  $D'$ , bestämmas.

#### VAGNEN

För att beskriva vagnens läge används de två vinklarna, theta och phi. Phi är en bestämd vinkel och är därför känd medan theta är ett resultat av traktorns bana, phi och vagnens tidigare läge.

För att bestämma theta utgås från läget innan steget. Detta är då känt.

På samma sätt som innan antas det att vagnen rör sig i den riktning den står, dvs. längs  $L_3$ . Då phi är känd kan sträckan  $L_{23}$  beräknas. Då vagnens axelpunkt rör sig längs vektorn  $L_3$  och avståndet mellan den nya dragpunkten,  $D'$ , och axelpunkten  $F'$  är känd, kan en skärningspunkt hittas. Detta är den nya axelpunkten  $F'$ . Denna uppställning illustreras i figur 15.



Figur 15. Definition av vagnens punkter, längder och vinklar.



## REGULATOR

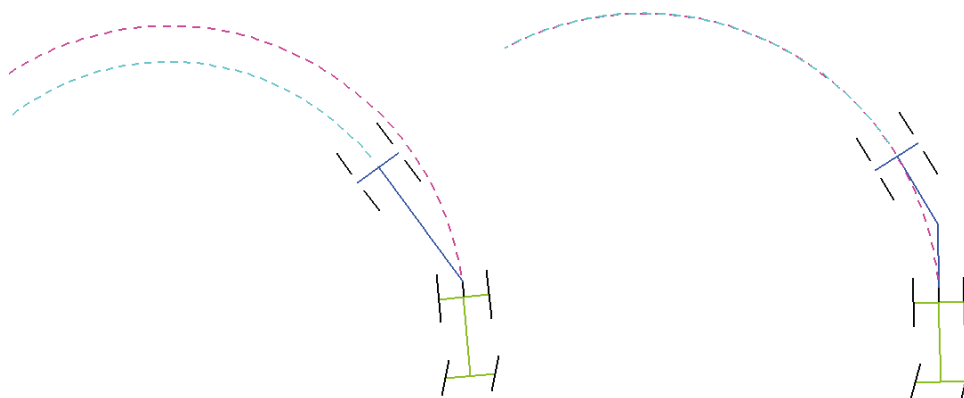
När ekipagets dynamik är bestämd kan ett reglersystem pluggas in i simuleringen. Det tidigare beräknade vinkelförhållandet kan användas till att, utifrån den främre vinkeln, skapa ett *börvärde* för vagnstyrningsvinkeln. Sedan styrs denna vinkel mot det önskade värdet. I simuleringen valdes en *PID-regulator* för uppgiften, då denna är enkel att implementera och justera. PID-regulatorn är den i särklass mest använda regulatorn i industrin. Även då den är ganska enkel är den också kraftfull och effektiv. Den påminner också mycket om hur en människa själv skulle reglera, vilket är det som ska ersättas med detta projekt. [6]

För att göra simuleringen mer realistisk infördes en begränsning på hur snabbt vagnstyrningsvinkeln kan ändras vilket ungefär speglar ett hydrauliskt system.

## UTVÄRDERING

För att testa denna reglermodell gjordes ett flertal simulerade trajektorier. Både traktorns och vagnens banor ritas ut och avvikelsen loggas.

För att visa vilken skillnad vagnstyrning kan göra kördes simuleringen efter en konstant cirkelbana, först utan, och sedan med den automatiska vagnstyrningsalgoritmen. Resultatet visas i figur 16.

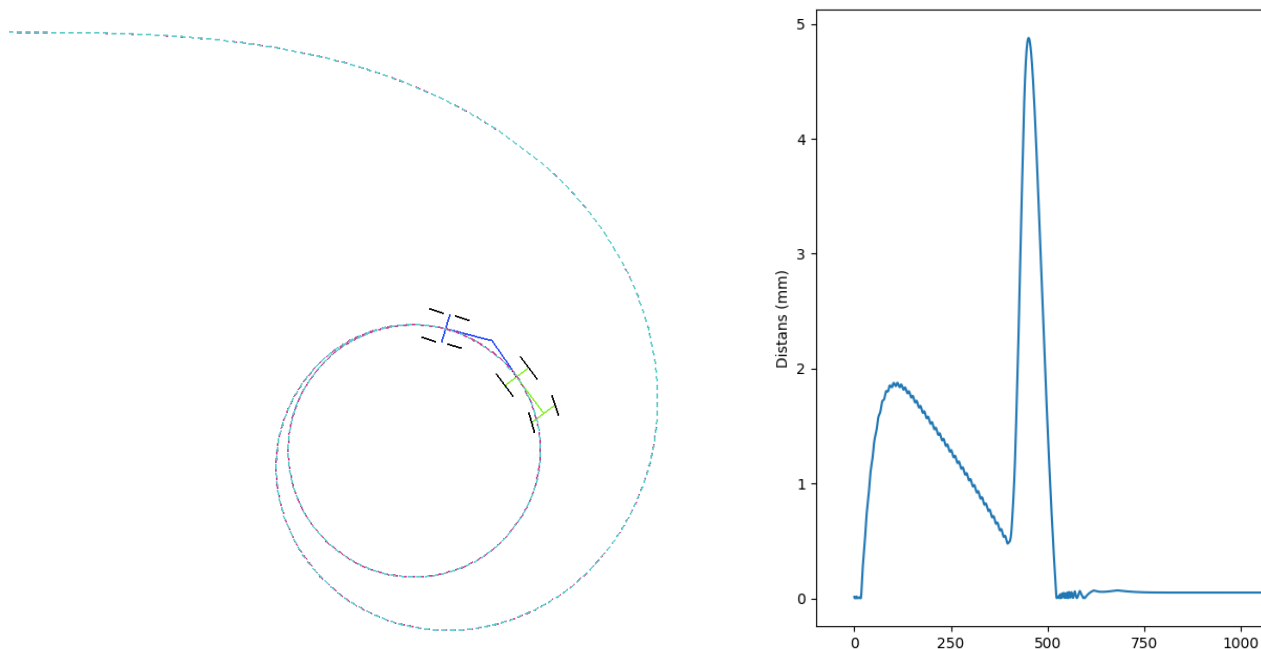


Figur 16. Simulerat resultat. Till vänster, utan automatisk vagnstyrning. Till höger, med automatisk vagnstyrning.

Som bilden tydligt visar är det en avsevärd skillnad. Utan vagnstyrning hamnar mer än halva vagnen utanför det spår som traktorn tidigare gjorde. Med automatisk vagnstyrning där emot följer vagnen till synes helt perfekt i det önskade spåret. Som tidigare diskuterats är den valda modellen bara entydig i det stationära fallet, som denna konstanta cirkel är ett exempel på. För att se hur resultatet blir för en godtycklig körbana görs två andra simuleringsfall med icke-konstanta trajektorier.

## Spiral

Genom att låta ekipaget köra längs en spiralliknande bana testas hur systemet hanterar en ständigt minskande svängradie. I detta exempel är trajektorian aldrig konstant, utom i slutet då traktorns maximala rattutslag nåtts. Den spiralformade körbanan illustreras i figur 17.

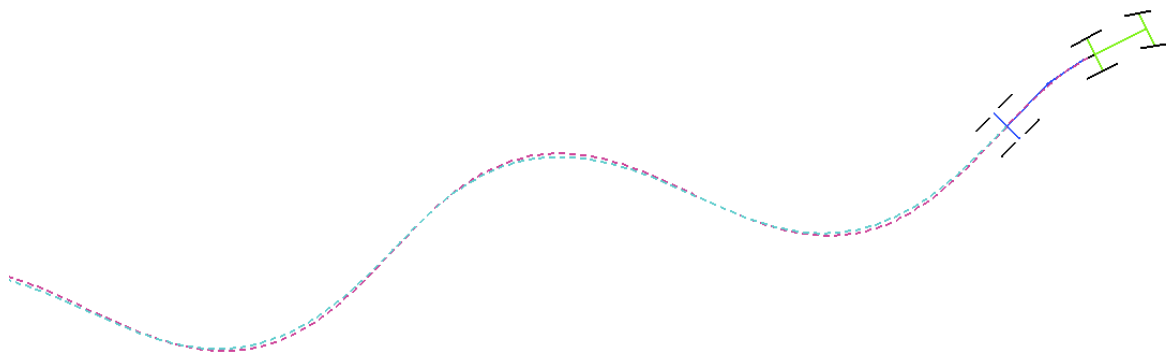


Figur 17. Testfall 1. Till vänster, testad färdväg. Till höger, avvikelse från optimal färdväg.

Visuellt ser det även här ut som att vagnen och traktorns spår är i princip identiska. För att utvärdera detta plottas vagnens avvikelse från den önskade vägen. Plotten i figur 17 visar att en avvikelse uppstår direkt när traktorn börjar svänga. Den uppgår till ca 2 mm för att sedan börja falla mot 0 då regleringen tar fart. När traktorn slutar att öka sin styrvinkel växer avvikelsen snabbt till ca 5 mm då dragvinkeln plötsligt slutar att växa. Systemet kompenserar snabbt för detta och hittar sitt stationära läge utan avvikelse.

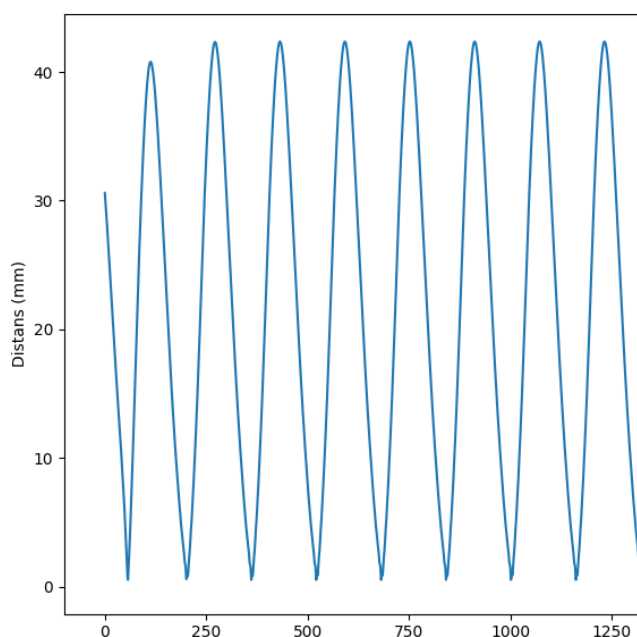
## Sicksack

För att testa hur systemet hanterar riktningsändringar skapas en sicksack-formad trajektoria för simuleringen vilken åskådliggörs i figur 18.



Figur 18. Testfall 2. Testad färdväg.

Resultatet av denna simulering visar att systemet i detta testfall har något svårare att hålla vagnen på rätt ställe. När det svänger som mest hamnar vagnen något innanför den önskade trajektorian.



Figur 19. Testfall 2. Avvikelse från optimal färdväg.

Även plotten över avvikelsen, i figur 19, visar detta. Som mest uppgår denna till strax över 40 mm. Detta beror på att modellen inte är gjord av ett dynamiskt samband, utan ett statiskt. Även om detta visar att modellen inte helt kan styra vagnen till rätt position är det ändå så nära att det kan godtas för uppgiften. Fyra centimeters avvikelse får anses vara inom felmarginalen för dessa typer av ekipage.

## 6 KOMMUNIKATIONS PROTOKOLL OCH VENTILSTYRNINGSTEORI

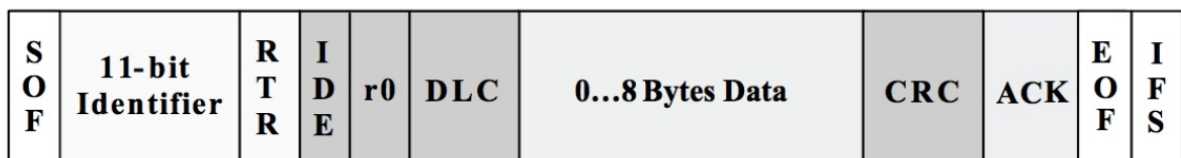
Innan kapitlet konstruktion och byggnation av prototypsystemet behöver viss teori belysas för att öka förståelsen för vissa begrepp.

### 6.1 CAN

De flesta kontrollereenheter, skärmar, joystickar och knapppaneler som används i skogs- och lantbruksfordon, så som traktorer och skogsmaskiner, kommunicerar via CAN. Det är ett standardiserat kommunikationsprotokoll vilket möjliggör enkel och modulär ihopkoppling av enheter från olika tillverkare och med olika uppgifter. Detta har föranlett att de enheter som valts för projektet kommunicerar med CAN. Därför krävs det att vi först presenterar vad detta är och hur det ska användas.

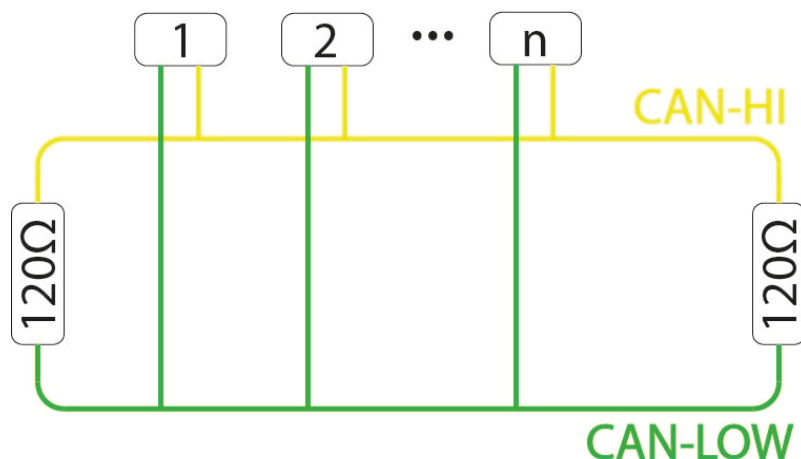
CAN eller CAN-buss står för "Controller Area Network" och är en databuss främst framtagen för fordon, men används idag på betydligt fler håll. CAN kommunicerar seriellt, d v s genom att skicka en databit i taget i snabb följd. Kommunikationen är asynkron, vilket innebär att data skickas som ett paket av bitar bara då det är önskat. Därefter upphör kommunikationen tills nästa paket skickas. Detta system är gjort för att kunna ha flera noder på samma linje. Olika enheter parallellkopplas alltså på samma CAN-buss där samtliga både kan skicka och ta emot meddelande.

För att rätt meddelande ska komma till rätt mottagare är varje paket, eller meddelande som det ofta kallas, noggrant regelstyrt. Det finns olika varianter på protokoll för dessa meddelande och inom ett CAN-bussystem måste alla enheter vara överens om vilket protokoll som gäller. Ett meddelande består i huvudsak av två delar. Den första delen är en identifierare. Detta är en dataström på 11 bitar, eller i större system 29-bitar. Identifieraren har till uppgift att tala om vad det är för ett paket som skickas. Det krävs att enheterna i systemet på förhand vet vad de olika identifierarkoderna innebär och hur data i paketet ska tolkas. Efter identifieraren kommer datapaketet. Detta kan variera i längd mellan olika protokoll men är ofta 8-byte långt, dvs. 64 bitar. Dessa två delar av paketet är det som en användare måste ha koll på. Ett paket innehåller, som figur 20 visar, många fler delar men dessa sköts automatiskt av systemet.



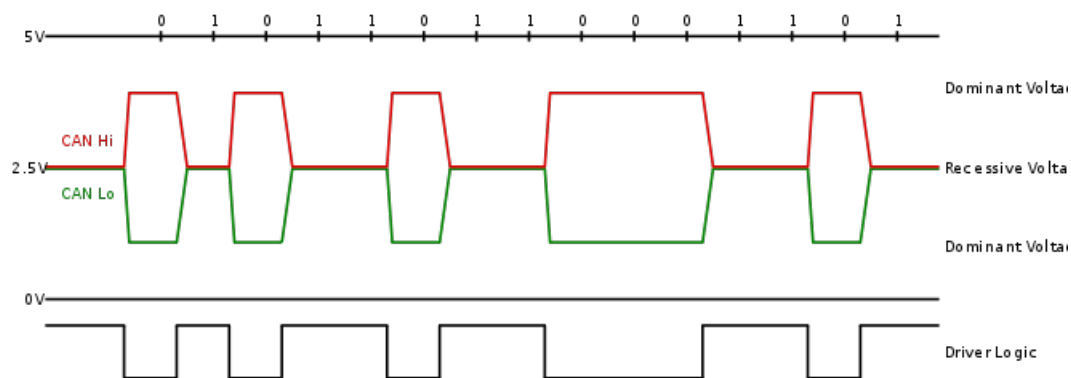
Figur 20. Ett CAN-pakets olika beståndsdelar. Källa: [7]

Själva bussen består fysiskt av två ledare, som tvinnas runt varandra för att motverka elektromagnetisk störning. I ändarna sammanbinds dessa ledare med en resistor på 120 ohm, kallad slutmotstånd. Detta är till för att motverka att signalen reflekteras och färdas tillbaka i ledaren. Ledarna benämns CAN-High och CAN-Low och bildar tillsammans en digital linje. En schematisk bild återfinns i figur 21.



Figur 21. Schematisk bild av ett CANBUS-system med n stycken anslutna enheter på samma buss.

Att två ledare används för en signal beror på att man på detta sätt kan göra den mycket mer okänslig. Om bussen är lång och de olika enheterna har lite olika spänningsreferens är det lätt att en vanlig jordnormerad linje kan misstolkas för vad som är hög och låg. CAN-buss bygger istället på att enheterna mäter potentialskillnaden mellan CAN-high och CAN-low. Detta kallas en balanserad kabel.



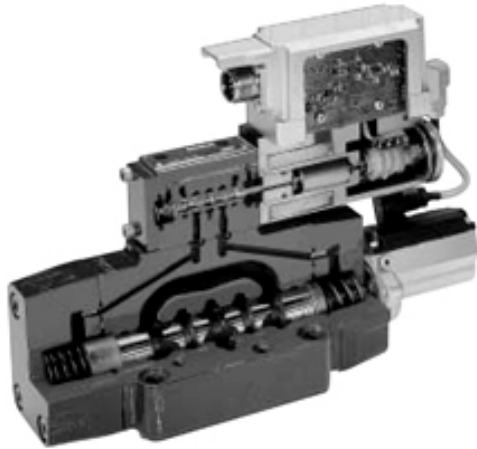
Figur 22. De olika ledarnas potential beroende på digital signal. Källa [8]

En digital *nolla* gör att CAN-high spänningssätts med systemspänningen, vilket ofta är 5 volt, medan CAN-low sätts till 0 volt. Då har de båda ledarna en potentialskillnad på ca 5 volt. En digital *etta* däremot gör att båda ledarna antar en spänning på runt halva systemspänningen, dvs. 2,5 volt. Detta ger en potentialskillnad nära noll. På detta sätt blir skillnaden mellan hög och låg signal tydlig och okänslig för störningar vilket illustreras i figur 22. [7, 9]

## 6.2 DITHER

Dither är ett medvetet tillagt brus som ofta används i ljud- och bildproduktion för att uppnå vissa effekter. Dither används också när proportionalventiler styrs. Det innebär i praktiken

att "brus" adderas till utsignalen. För att förstå varför detta är en bra idé studeras en proportionalventil.



Figur 23. Proportionalventil i genomsnitt.

Flödet styrs genom att en cylindrisk stav, så kallad slid, förflyttas åt något håll och släpper förbi mer eller mindre olja. Denna syns i figur 23 som den stora cylinderformade stängen i bildens nedre del. Förflyttningen av sliden sker med hjälp av elektromagneter. Även då sliden är väloljad uppstår en viss friktion. När ventilen hållits stilla i ett läge och sedan ska börja röra sig igen tenderar denna att hänga kvar lite. Detta då vilofriktionen är högre än glidfriktionen. Det kan göra att sliden rycker till då den lossnar ur sitt fasta läge, och hydraulflödet med denna. För att undvika detta och få en mjukare reglering används dither. Genom att lägga ett brus på styrsignalen får sliden en vibrerande rörelse vilket resulterar i att den aldrig är fast. När signalen ändras är den lös och följer med i ändringarna. Detta brus skapas vanligen av att utsignalen växelvis ökar och minskar med 5-10% med en hög frekvens. [10]

## 7 KONSTRUKTION OCH IMPLEMENTATION AV PROTOTYPSYSTEM

### 7.1 VINKELMÄTNING

För konstruktionen krävs det att både dragvinkeln, och vagnstyrningsvinkeln kan mätas. För att åstadkomma detta måste någon typ av mätutrustning kunna monteras på ett så generellt sätt som möjligt, för att passa på alla märken och modeller av vagnar och dragfordon.

#### *Vagnstyrningsvinkel*

Vagnstyrningsvinkeln ska mätas på den befintliga led som finns. Denna kan vara utformad på många olika sätt. Det vanligaste verkar vara att draget sitter lagrat på en axel som är fixerad i själva vagnen. Det tillsammans med att axeldiametern är vida varierande gör det svårt att montera en givare i själva leden. En gemensam nämnare för alla skogsvagnar är att vagnstyrningen kontrolleras av en eller två hydraulcylindrar. Genom att byta ut en av dem mot en hydraulcylinder med linjärgivare kan man mäta hur långt ut cylinderns kolv är. Genom att känna till hur leden och cylindern är placerade relativt varandra och vagnen kan vinkeln beräknas. På detta sätt kan vinkelmätning åstadkommas på ett generellt sätt. Detta mätsätt ger dock en viss olinjäritet som måste kompenseras för.

Till detta projekt användes en hydraulcylinder med en PS6500 linjärgivare från *Regal*. Denna givare byggs in i hydraulcylindern vilket gör den skyddad och robust. Givaren fungerar som en potentiometer och spänningsdelar matningsspänningen till utgången, vilken i detta fall är 10 volt. Den har en repeterbarhet på  $\pm 0,013$  mm, linjäritet på  $\pm 2$  % och en upplösning på nära oändligheten. Slaglängden på testvagnens cylindrar är 350 mm med ett vinkelutslag på  $\pm 37^\circ$ . Det ger ungefär ett utslag på 0.14 volt per grad.

#### *Dragvinkel*

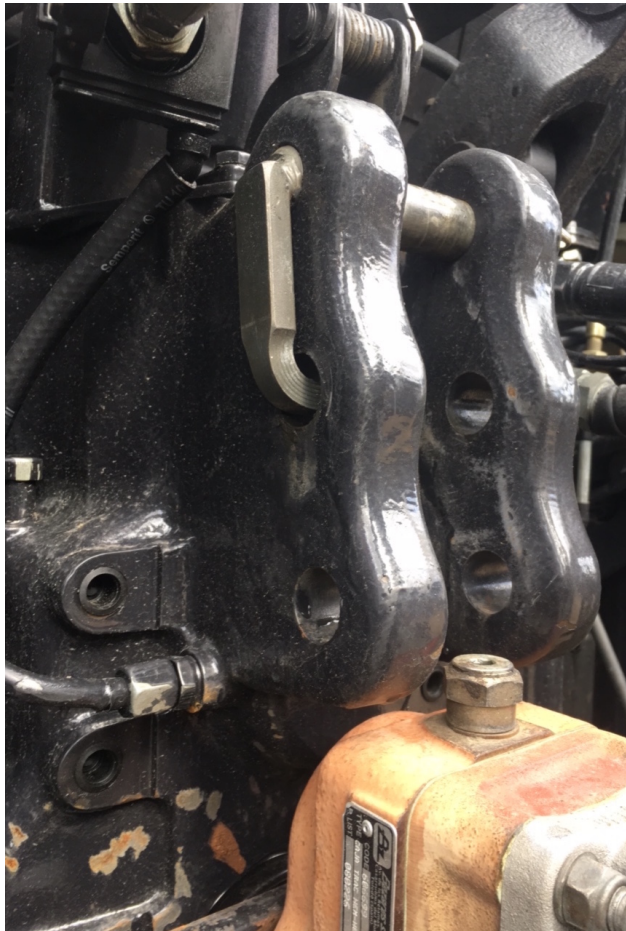
Att mäta dragvinkel visade sig något mer komplicerat. Ledpunkten mellan en traktor och vagn är i de flesta fall en hitchkrok och hitchögla vilka åskådliggörs i figur 24.



Figur 24. Bild på hitchkopplingen mellan en traktor och en vagn.

Som namnet antyder och bilden visar är detta en grov krok som fångar öglan och lyfts upp mot en plåt som förhindrar att vagnen hoppar av kroken. Denna koppling har inte i närheten den precision som en vanlig koppling mellan en bil och ett släp har utan är tämligen glappig. Hitchkroken och dess fastsättning och lyftanordning skiljer sig också mycket mellan olika traktorer. Detta gör det svårt att placera en vinkelmätare med hög precision där.

För att göra en generell lösning på detta problem kan istället toppstångsfästet användas.

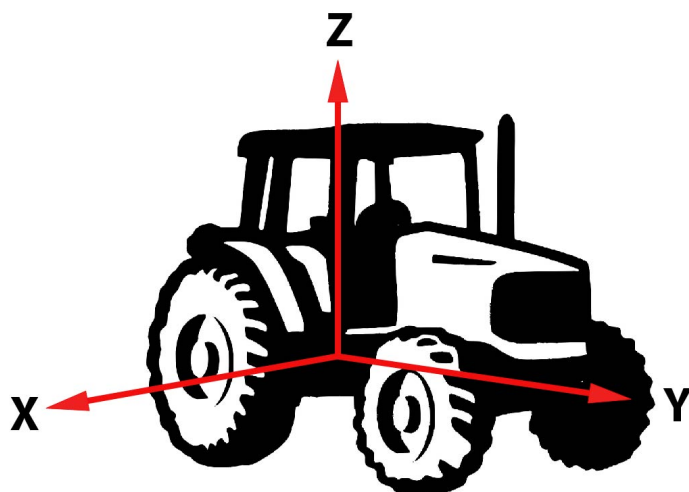


Figur 25. Toppstångsfäste på en traktor där givaren monteras.

Detta fäste används till andra redskap och återfinns på så gott som alla traktorer. Det är dessutom glappfritt. En bild på toppstångsfästet visas i figur 25. En justerbar fästeanordning för toppstångsfäste konstruerades för att kunna hålla en vinkelmätare. På fästet byggdes en axel, ledad med kullager. Vinkelmätaren monterades i ändan på axeln. Denna ska rotera motsvarande hitchöglans rotation runt hitchkroken, dvs i horisontalplanet. För att åstadkomma detta fästes en stång i axeln som löper ner mot draget där det skruvas fast. På så sätt följer stången med draget när det rör sig och vridningen kan mätas av vinkelgivaren.

En hitchkoppling är emellertid inte begränsad till rotation i horisontalplanet utan kan röra sig tämligen fritt runt kroken. För att lättare beskriva de olika rörelserna införs ett koordinatsystem vilket visas i figur 26.

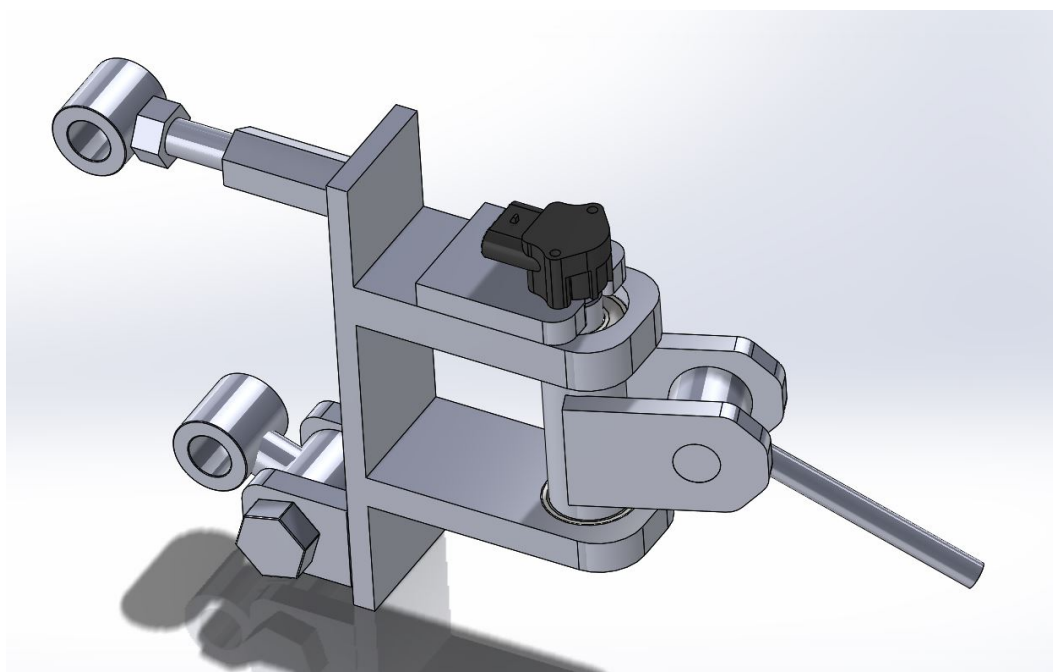




Figur 26. Definition av traktorns koordinatsystem.

Dragvinkeln som ska mätas är alltså rotationen runt z-axeln.

I skogen är terrängen ofta ojämn. Om traktorn eller vagnen kör upp för en backe eller över en sten kommer det ske en rotera runt x-axeln. Då mätanordningen är fäst en bit över hitchkroken på traktorn kommer stängen som förbinder vinkelsensorn med draget att få en både annan längd och vinkel runt x-axeln. Detta skulle resultera i att stängen eller fästet gick sönder. För att hantera detta fästs stängen på en ledad axel och görs teleskopisk. En modell av givarfästet visas i figur 27.



Figur 27. CAD-modell av givarfästet.

För själva vinkelmätningen används vinkelgivare 9360 från Regal, vilken visas i figur 28. Denna givare bygger på principen att med hjälp av en magnet och hall-effektelement detektera rotation. Den kan programmeras för ett önskat intervall. I detta fall valdes  $\pm 60^\circ$ . Det är ganska mycket större än det tänkta arbetsområdet men är bra för en prototyp.

Givaren har en avvikelse på  $\pm 0,6\%$  över hela mätområdet och spänningsdelar matningsspänningen till utgången. Detta ger en tillräckligt bra upplösning. Givaren är IP67-klassad och mycket slag och vibrationstålig[11]. Detta gör den robust och passande till applikationen.



Figur 28. Vinkelgivaren som används till prototypsystemet [11]

## 7.2 KONTROLLER

När vinkelmätningen är på plats är nästa steg att implementera en kontrollenhet för att hantera mätsignalerna. Det som efterfrågas i valet av kontrollenhet är en robust och vädertålig enhet då den kommer sitta ute på vagnen. Vidare behövs en PWM-modul för att kunna styra hydraulventilen.

Dasa dC-26 är en kompakt och mycket robust kontrollenhet, avsedd för skogsmaskiner. Enheten har ett antal ut- och ingångar, även med AD-omvandlare. Den matas med 9-32 V vilket gör den flexibel och passar maskiner med både 12- och 24-volts system. Den har dessutom inbyggda PWM-moduler med strömmätning, anpassade för hydraulventiler (se bilaga 1). Alla dessa funktioner gör den till ett utmärkt val för denna prototyp. En bild på Dasa dC-26 syns i figur 29.



Figur 29. Kontrollern som används till prototypsystemet.

Kontrollern sköter all kommunikation via CANBUS (SE AVSNITT OM CANBUS) och programmeras via en CANBUS till USB-adapter från en PC. Den kan programmeras i C men med fördel skrivs kod i CODESYS vilket är en utvecklingsmiljö för PLC.

### 7.3 ANVÄNDARINTEFACE

Som tidigare nämnts i uppgiftsbeskrivningen måste systemet ha ett sätt att interagera med föraren. Kraven är att kunna stänga av och på systemet samt att möjliggöra att manuellt ställa vagnstyrningsvinkeln. Detta skulle kunna lösas med någon enkel knappsats eller vred.

I detta projekt har istället en mer avancerad display med knappar och vred valts. Displayen heter *Wachendorff OPUS A3* och kommunicerar via CANBUS. Denna visas i figur 30. Anledningen till att en display valdes till denna prototyp är mycket för att underlätta utvecklingen och möjliggöra inställningar utan att behöva programmera om kontrollern.



Figur 30. Displayen som används till prototypsystemet.

Displayen är tämligen enkel att använda då den är ganska oberoende av det övriga systemet. Den programmeras separat och har själv hand om all grafik. Information om knapptryckningar och vredets position skickas som ett paket via CANBUS till kontrollern. Kontrollern i sin tur skickar meddelanden med data, värden och vilken grafisk sida displayen ska visa. På så sätt är de inte direkt beroende av varandra. Programmeringen sker i ett grafiskt verktyg som heter *Projektor Tool*. Där placeras knappar, text- och numeriska fält ut på olika vyer. Fälten fylls sedan med data från kontrollerns meddelande (se bilaga 2).

### 7.4 HYDRAULSYSTEM

Den sista delen i konstruktionen är det hydrauliska systemet. För att kunna styra hydraulcylindrarna dit man önskar används en elektriskt styrd ventil. Till denna uppgift passar en proportional 4/3 riktningventil. Proportional innebär att ventilen är steglös. 4/3 betyder att ventilen har fyra anslutningar och tre lägen. De fyra anslutningarna är oljetryck(P) från traktorn, oljeretur(T) tillbaka till traktorn samt, A och B, ut och in för cylindrarna. Ett hydraulschema över systemet visas i figur 41. De två aktiva lägena kan bara fungera på ett sätt. Det ena styr oljan till port A, och det andra till port B. Det mittersta, viloläget, kan däremot se ut på många olika sätt. Det som önskas i detta fall är ett helt stängt läge, dvs. ingen olja kan röra sig vilket ger en låst vagnstyrningsvinkel. Denna konfiguration är ovanlig för proportionalventiler då dessa nästan uteslutande används till hydraulmotorer som kräver att både A och B kopplas till tank i vila. Ett sätt att lösa detta är att använda en motorventil och låta oljan gå igenom en pilotstyrd backventil. Då uppnås samma resultat.

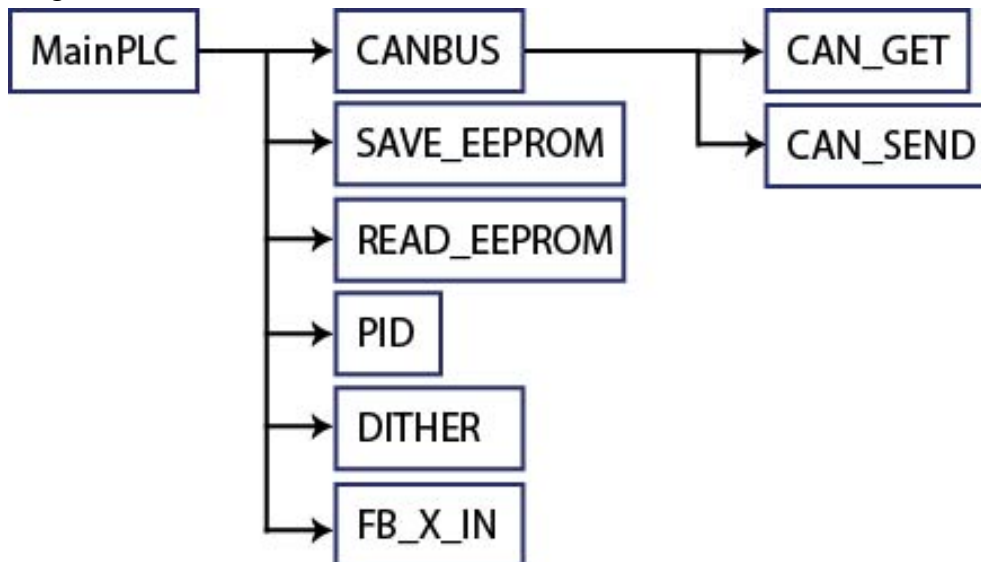
En proportionalventils flöde kontrolleras nästan alltid av hur mycket ström man skickar till ventilens magnetpole, så även i detta fall. Denna signal produceras enkelt av kontrollerns inbyggda PWM-modul.

## 7.5 PROGRAMMERING AV KONTROLLER

Som tidigare nämnts programmeras kontrollern i CODESYS, som står för "Controller development system". Det är alltså en utvecklingsmiljö för att programmera kontrollersapplikationer. Systemet följer den internationella industriella standarden IEC 61131-3 som definierar mjukvarustruktur och programspråk för PLC. I CODESYS kan kod skapas på flera olika sätt, däribland ladderdiagram och funktionsblocksdiagram. För denna applikation skrivs koden som strukturerad text, vilket är mer likt Pascal och C. CODESYS kompilerar koden till maskinkod för den valda enheten och laddar upp denna via en CANBUS-länk. När systemet är online, kan programmet läsa av allt som händer i kontrollern. Alla variablers värden visas och det går enkelt att ändra dessa i realtid på kontrollern. Det går också att pausa koden och stega sig fram vilket gör denna miljö enkel att debugga.

Koden samlas i olika funktioner som sedan kallas av huvudprogrammet. Det går även att använda alla de standardiserade funktionerna från PLC-biblioteket.

### Programstruktur



Figur 31. Schematisk bild av kontrollerns programstruktur.

Programmet som körs på kontrollern är uppdelat i några olika funktioner och programavsnitt vilka visas i figur 31.

**MainPLC** är programmets loop. Denna funktion innehåller den mesta logiken och alla beräkningar. Den har ingen fix cykel utan körs så ofta det går. Detta avsnitt börjar med att anropa CANBUS för att skicka meddelanden från förra loopen och läsa av om det kommit några nya. Sedan avkodas meddelanden och informationen hanteras. Programmet anropar sedan FB\_X\_IN för att läsa av sensorerna. Vidare beräknas vilken vinkel som önskas och detta börvärde skickas till PID. Slutligen anropas DITHER som styr utgångarna till hydraulventilen.

**CANBUS** sköter kommunikationen till och från kontrollern via funktionerna CAN\_GET och CAN\_SEND. Innan dessa anropas byggs de meddelanden som ska skickas ihop.

**SAVE\_EEPROM** och **READ\_EEPROM** hanterar, som namnen antyder, kontrollerns fasta minne.

**PID** är den funktion som innehåller själva regulatorn och alla regulatorparametrar. Funktionen läser in referensvinkel och uppmätt vinkel och beräknar en styrsignal. Antiwindup och styrsignalsbegränsningar hanteras även av PID-funktionen.

**DITHER** är en funktion som justerar utsignalen. För att ventilen inte ska fastna i ett läge ökar och minskar funktionen utsignalen upp och ner växelvis vilket ger en vibrerande effekt på ventilens rörliga slid. På så sätt är denna aldrig stilla. Se avsnitt om dither.

## 7.6 PROGRAMMERING AV SKÄRM

Skärmen programmeras med verktyget Projektor Tool. Det är, som tidigare beskrivits, en grafisk miljö där olika vyer skapas.

*Hem-vy*



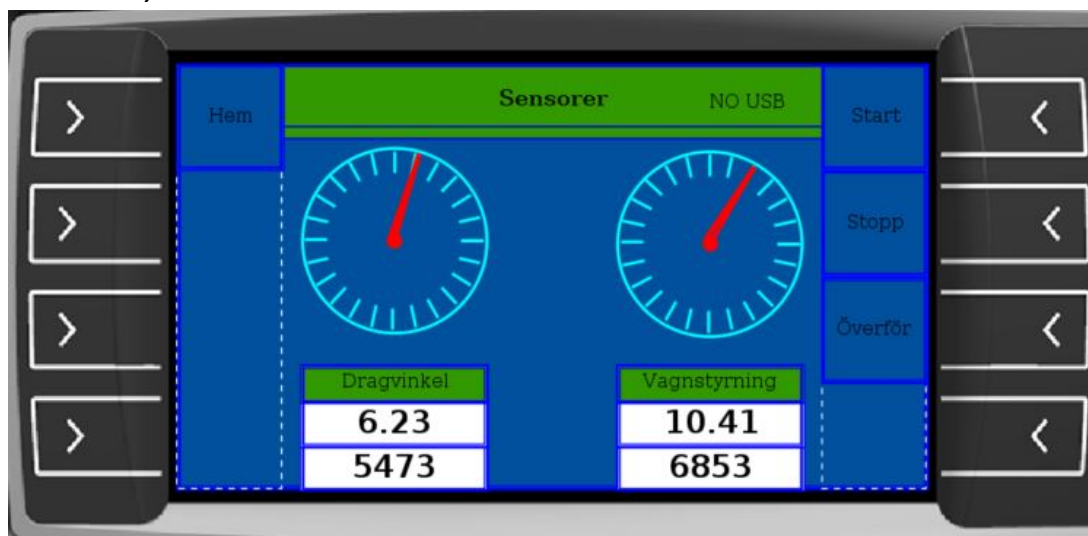
Figur 32. Bild av displayen med hem-vyn.

Den första vy användaren kommer till när systemet startas är Hem. Denna sida ska ge en överblick av systemet och länka vidare till menyns andra sidor. På skärmen visas även en grafisk presentation av de båda mätta vinklarna, dragvinkel och vagnstyrningsvinkel, samt hydraulflödet som kontrollern begär av hydraulventilen.

Till vänster finns fyra knappar. Med dessa kan användaren välja vilket läge systemet ska köras i. Det kan bara vara ett läge som är aktivt i taget och när ett nytt läge väljs så avmarkeras det föregående. "Manuell" är som namnet antyder ett läge utan vinkelstyrd justering. Här kan användaren själv ändra vagnstyrningsvinkeln genom att vrida på skärmens ratt. Vid t.ex. backning kan detta vara ett bra hjälpmedel. "Auto" är läget då den automatiska vagnstyrningen är aktiv. Då sköts regleringen helt själv för att hålla vagnens hjul i traktorns hjulspår. "Transport" är tänkt för vägkörning och andra tillfällen då vagnstyrningen inte önskas. När detta läge väljs kommer vagnstyrningen ställa sig helt rak och stanna där, som en vanlig vagn. Läget "Av" låter användaren helt avaktivera systemet. När läget väljs kommer allt hydraulflöde att stoppas och vagnstyrningen blir kvar i det läge den råkar ha.

Till höger på skärmen finns fyra knappar som tar användaren vidare till menyens andra vyer. Dessa beskrivs nedan.

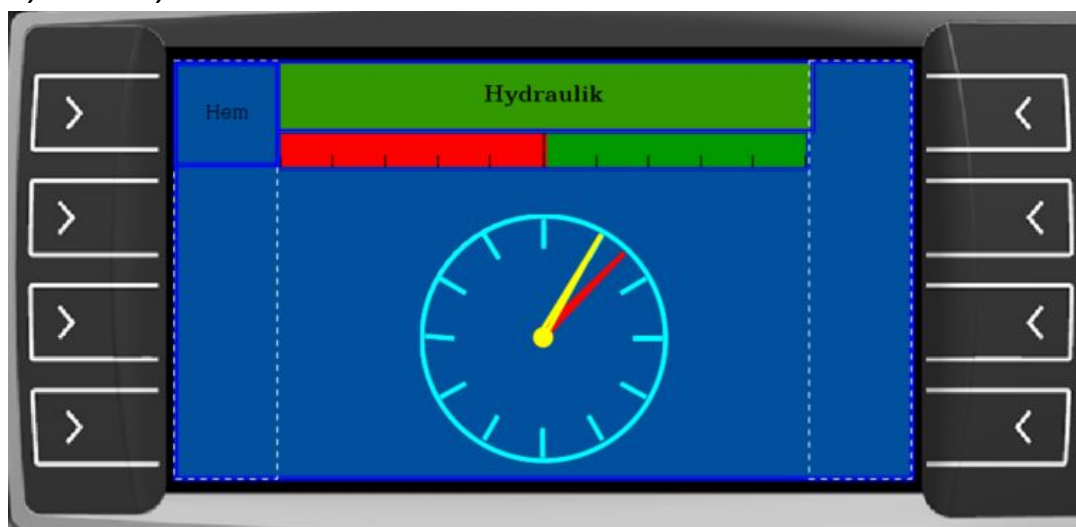
### Sensorer-vy



Figur 33. Bild av displayen med sensorvyn.

Sensorer är sidan som närmare presenterar systemets två vinkelmätningar. Varje sensors mätvärde presenteras dels i en grafisk mätare och i sifferform. Det övre nummerfältet visar mätarens vinkel i grader och det nedre visar rådata från kontrollerns AD-omvandlare. Detta underlättar inställning och felsökning. Sensorsidan har också ett system för att logga dessa mätvärden. Detta sköts med knapparna på höger sida. "Start" och "stop" aktiverar och stoppar loggningen. För att exportera logg-filerna från displayen ansluter man ett usb-minne och trycker på knappen "överför". Textfältet uppe i sidhuvudet berättar om skärmen detekterat ett usb-minne eller inte, och den smala gröna listen precis under visar hur långt överföringen har kommit, genom att fyllas med grönt.

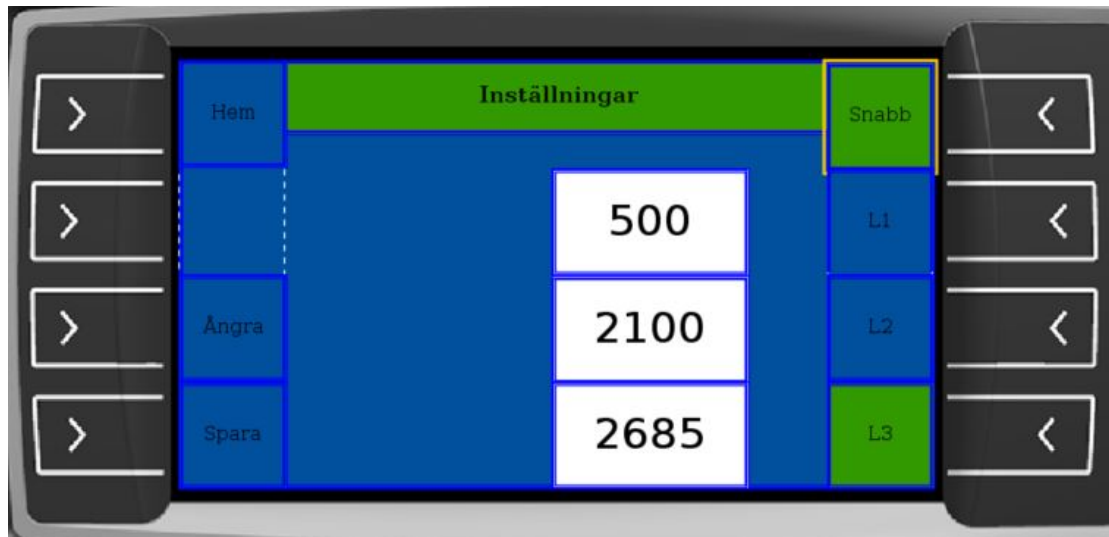
### Hydraulik-vy



Figur 34. Bild av displayen med hydraulikvyn.

Hydrauliksidan är en vy som visar vad som händer hydrauliskt. Uppe vid sidhuvudet visas hydraulikflödet, på samma sätt som på hemvyn. Under visas en mätare med två nålar. Den gula visar den faktiska vagnstyrningsvinkeln och den röda visar den vinkel som styrsystemet vill uppnå.

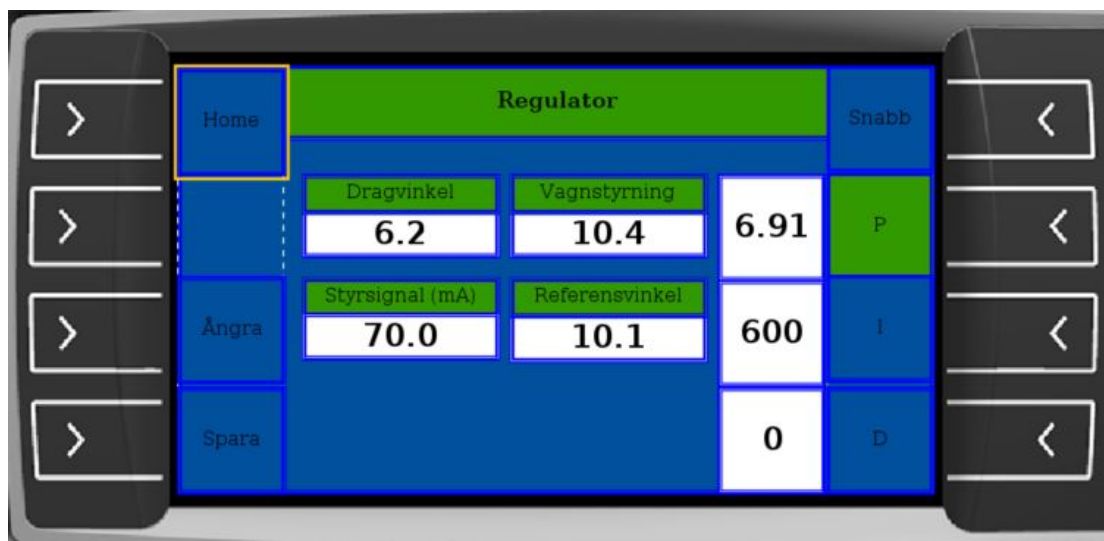
### Inställningar-vy



Figur 35. Bild av displayen med inställningsvyn.

Inställningsvyn tillåter användaren att snabbt och enkelt ställa in de tre längder som styrsystemet kräver att känna till om vagnens geometri.  $L_1$  är avståndet mellan traktorns bakaxel och hitchkrok,  $L_2$  är dragets längd och  $L_3$  är sträckan mellan vagnstyrningsleden och vagnens hjulaxel. Genom att trycka på en av längdernas knappar markeras denna i grönt och tillåts ändras genom att skärmens ratt vrids. Om läget "snabb" markeras ökas längden med tio för varje vridning istället för ett. När inställningen är klar kan värdena sparas till kontrollers EEPROM genom att knappen "spara" trycks ner. Om användaren istället trycker på "ångra" så läser skärmen in de tidigare sparade värdena på nytt.

## Regulator-vy



Figur 36. Bild av displayen med regulatorvyn.

Regulatorvyn är främst tänkt för utveckling och inställning av systemet. På denna sidan visas de värden som rör regulatorn, dragvinkel, vagnstyrningsvinkel, referensvinkel och styrsignal. Till höger finns inställningar för regulatorns parametrar. Detta ställs in på samma sätt som längderna i inställningsvyn. "Spara" och "ångra" fungerar också på samma sätt och läser och skriver kontrollerns EEPROM.

### Programstruktur

Som tidigare nämnts är skärmen bara gjord för att visa data och är väldigt begränsad att implementera logik i. Därav är det nödvändigt att istället låta kontrollern hantera den logik som behövs och sedan skicka dessa kommandon till skärmen igen. All kommunikation sker via CAN-buss, (se avsnitt 6.1).

### CAN-MEDDELANDE

För att enkelt kunna programmera de olika enheterna på CAN-nätet måste meddelandena specificeras. Nedan följer en tabell över de meddelanden som används i projektet.



<b>Id</b>	<b>Avsändare</b>	<b>Mottagare</b>	<b>Period</b>	<b>Data</b>
0x100	Display	Kontroller	10 ms	Encoderposition och knappstatus
0x101	Display	Kontroller	100 ms	Aktuell vy på skärmen
0x104	Display	Kontroller	Vid ändring	Valt läge för reglering
0x105	Display	Kontroller	Vid ändring	Vilken längdvariabel som justeras
0x106	Display	Kontroller	Vid ändring	Vilken PID- parameter som justeras
0x200	Kontroller	Display	100 ms	Ack och tvångsstyrning av paket 0x104, 0x105 och 0x106
0x202	Kontroller	Display	100 ms	Längderna L1, L2 och L3
0x203	Kontroller	Display	100 ms	Sensorernas rådata
0x204	Kontroller	Display	100 ms	Sensorernas vinkel
0x205	Kontroller	Display	100 ms	Referensvärde och styrsignal
0x206	Kontroller	Display	100 ms	P, I och D-parameter från regulatorn

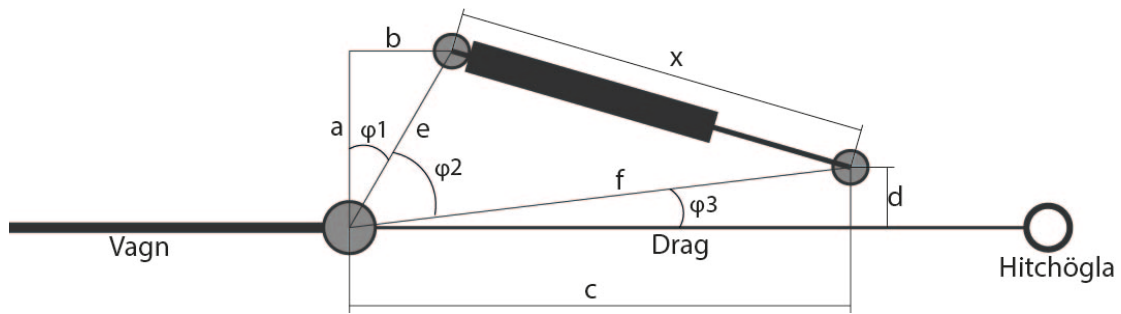
## 7.7 BYGGNATION AV PROTOTYPSYSTEM

För att testa systemet ska detta monteras på en skogsvagn. Vagnen som används har två hydraulcylindrar till vagnstyrningen. Tabellen nedan visar data på dessa cylindrar.

Cylinderdiameter	63 mm
Kolv diameter	32 mm
Slaglängd	350 mm
Minsta längd	618 mm
Största längd	968 mm

	Tryckande	Dragande
Volym	1.09 liter	0.81 liter
Kraft	6.23 ton	4.63 ton
Slagtid (20 l/min)	3.27 sek	2.43 sek
Hastighet (20 l/min)	107 mm/sek	144 mm/sek

För att kunna mäta vagnstyrningsvinkeln byts den ena cylindern ut till en cylinder med lägesmätning. Denna cylinder ger en utsignal mellan noll och tio volt beroende på hur långt ut kolvstången är. För att översätta denna signal till en vinkel görs följande uppställning i figur 37.



Figur 37. Hydraulcylinderns infästning.

Längden  $x$  i figur 37 är cylinderns totala längd, dvs den mätbara slaglängden plus längden den har när den är i sitt minsta läge.  $a$ ,  $b$ ,  $c$  och  $d$  är avstånden till cylinderns fästpunkter från draget och vagnstyrningsleden.

Av figuren kan följande bestämmas:

$$\varphi_1 = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad \varphi_3 = \arctan\left(\frac{d}{c}\right)$$

$$e = \sqrt{a^2 + b^2} \quad f = \sqrt{c^2 + d^2}$$

Vidare ger cosinussatsen följande:

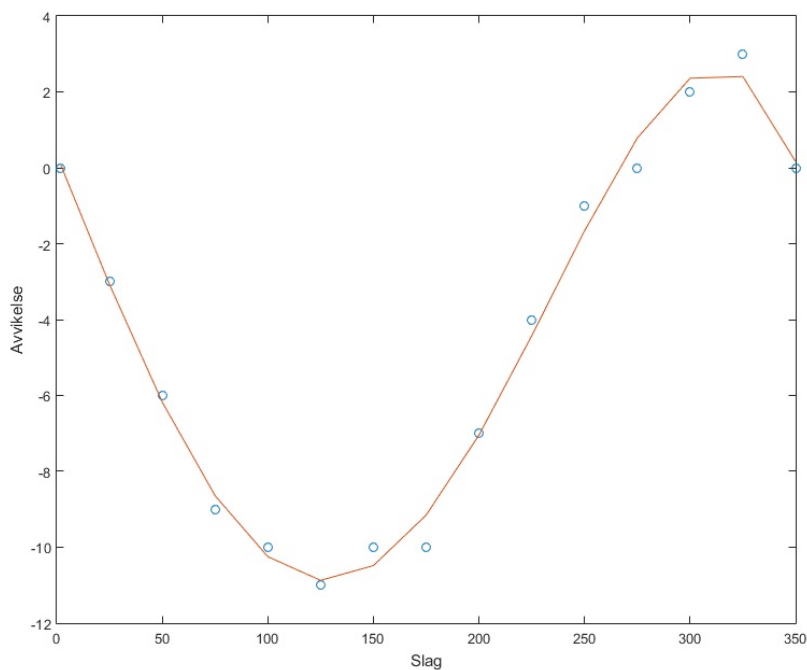
$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{e^2 + f^2 - x^2}{2 \cdot e \cdot f}\right)$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 - \frac{\pi}{2}$$

När vinkelmätningen testades framkom ett vinkelfel i vissa områden. Detta visade sig bero på en olinjäritet i cylinderns linjärgivare. I vissa områden visade inte givaren riktigt rätt avstånd. Detta var väntat då givaren enligt uppgift ska ha en linjäritet på  $\pm 2\%$ . För att kompensera för detta mättes cylinderns faktiska slaglängd och jämfördes med den uppmätta.

Uppmätt längd (mm)	Avläst längd (mm)
0	0
25	28
50	56
75	84
100	110
125	136
150	160
175	185
200	207
225	229
250	251
275	275
300	298
325	322
350	350

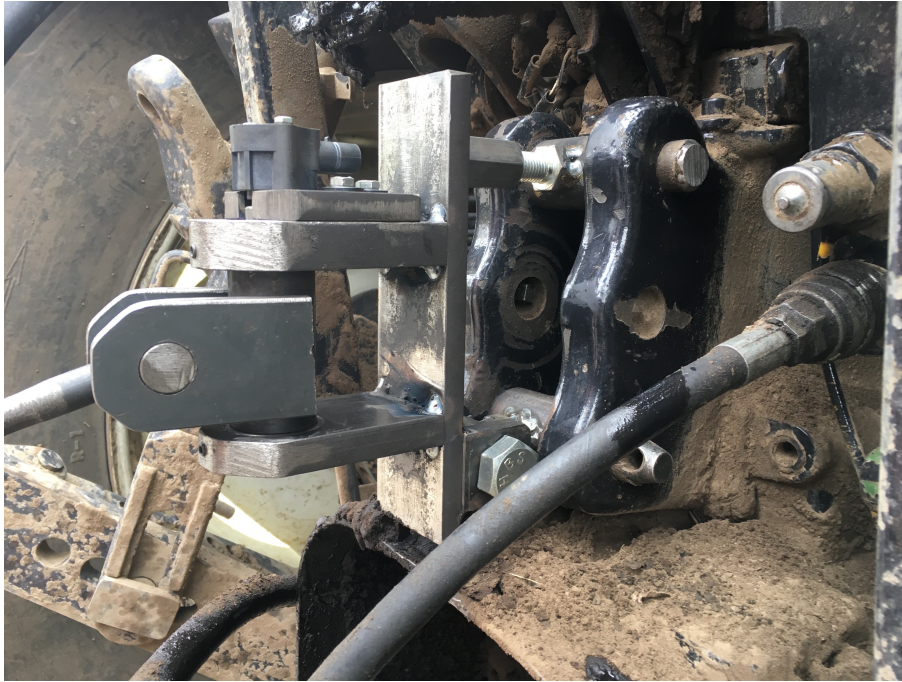
Med dessa mätvärden kan en regression av avvikelsen göras för att få en kompenserande funktion. Denna visar sig bli bäst resultat med en fjärde ordningens polynomfunktion.



**Figur 38. Ringar visar det uppmätta felet. Kurvan visar den anpassade kurvan för att kompensera för felet.**

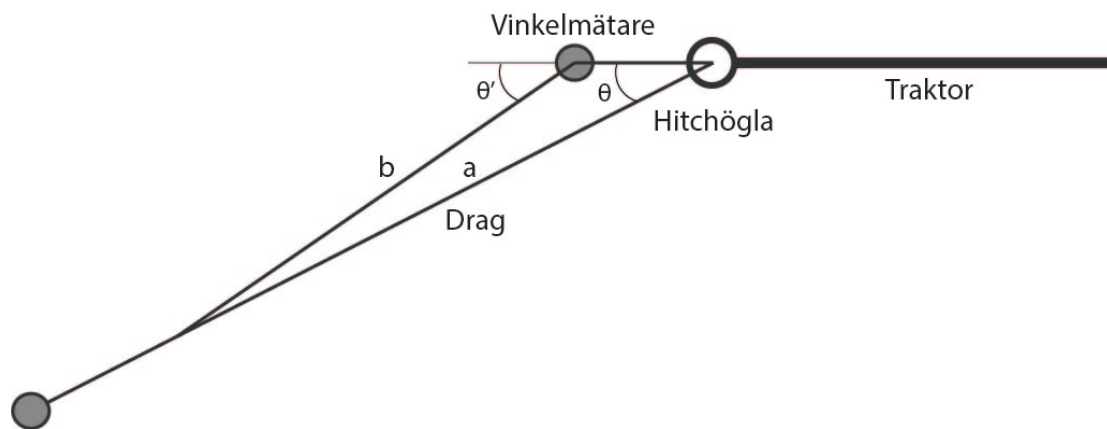
De blåa ringarna i figur 38 visar den uppmätta avvikelsen vid olika längder och kurvan visar den framtagna kompenserande funktionen. Med denna kan nu en ungefärlig avvikelse beräknas för varje uppmätt längd, och användas för att kompensera för felet.

För att mäta dragvinkeln monteras givarkonstruktionen på traktorns trepunktsfäste vilket visas i figur 39.



Figur 39. Vinkelmätarkonstruktionen monterad på traktorns toppstängsfäste.

Ett problem med denna lösning är att hitchkroken sitter närmare traktorns axel än vad trepunktsfästet gör. Detta medför att vinkelutslaget för givaren blir större än det för draget. För att kompensera för detta görs följande uppställning.



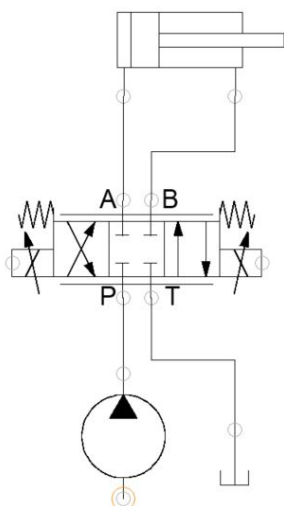
Figur 40. Kompensation av vinkelmätarens avvikande placering.

Från figur 40 kan följande beräkningar göras.

$$\frac{\sin(\pi - \theta')}{a} = \frac{\sin(\theta)}{b} \Rightarrow \theta = \arcsin\left(\frac{b}{a} * \sin(\pi - \theta')\right)$$

Detta ger alltså en funktion som kompenserar för vinkelfelet som uppstår beroende på givarens position.

Vidare behöver hydraulsystemet modifieras något. Istället för att cylindrarna styrs direkt av traktorns hydraulik ska oljan istället gå via en hydraulventil för att kunna styras av kontrollern, enligt hydraulschemat i figur 41.



Figur 41. Hydraulschema av prototypsystemet.

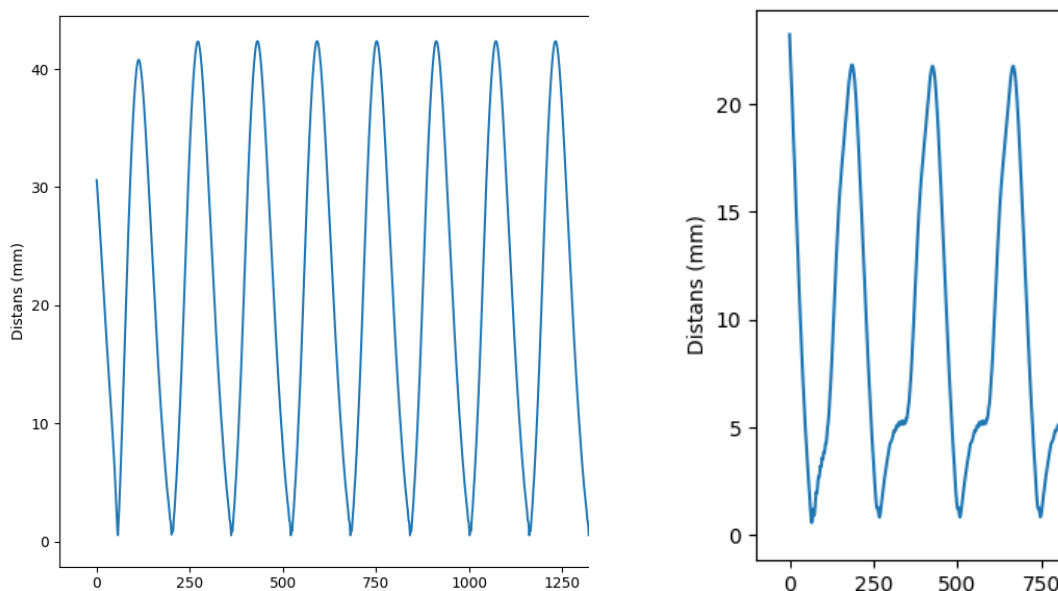
Slutligen kopplas elsystemet ihop. Kontrollern ansluts till de båda givarna samt till hydraulventilen. Via en CANBUS-ledning ansluts också displayen.

## 7.8 TESTNING AV PROTOTYPSYSTEM

Inledningsvis testas vinkelavläsningarna. Systemet sätts i avstängt läge och ventilen tvångsstyrs mekaniskt för att få ett kontrollerat förlopp. På så sätt kan vinklarna avläsas och kontrolleras. När vinkelavläsningen fungerar sätts systemet i manuellt läge. Genom att vrida på displayens ratt ställs en önskad dragvinkel in. Systemet ska nu ta sig till den önskade vinkeln genom att styra hydraulventilen. För att åstadkomma detta används systemets regulator. Det är önskvärt med en hög proportionaldel, då detta ger en snabbare reglering. Processen är stabil och hydraulflödet kan regleras snabbt. En stor proportionaldel ger därför inte upphov till några överslängar eller självsvängningar. Där emot blir regleringen ryckig då förflyttningen startar och stannar väldigt plötsligt. Ett sätt att lösa detta är att begränsa utsignalsändringen, dvs. hur mycket utsignalen kan ändra sig mellan varje cykel. Det ger mjukare start och stopp av hydraulcylindrarna. Om en vinkel större än vagnstyrningens maximala vinkel väljs eller om traktorn, i autoläge, svänger snävare än vad vagnen kan kompensera för, kommer regulatorn försöka flytta cylindrarna längre än sitt ändläge. Detta resulterar i att cylindrarna når sitt ändläge med en hög hastighet och att ventilen sedan fortsätter att skicka på olja. Detta är så klart inte önskvärt. Dels ger det en smäll när ändläget nås, vilket kan skada cylindrar och infästningar, dels leder det till onödigt höga tryck i ledningar och cylindrar. För att begränsa detta skrivs en funktion vars uppgift är att begränsa styrsignalen i områdena nära cylindrarnas ändläge. Med detta implementerat blir dragvinkeländringen mjuk men ändå relativt snabb i alla lägen. Efter dessa inledande tester och justeringar testas autoläget. För detta behöver ekipaget kunna köras obehindrat på en öppen yta. I detta försök kördes ekipaget runt och svängde på ett alternerade sätt. Ekipaget framfördes på en åker med lös jord där hjulen lämnar tydliga spår. Avståndet mellan de olika spåren mättes sedan.

## 8 RESULTAT

Det valda tillvägagångssättet att mäta dragvinkeln och vagnstyrningsvinkeln är, som tidigare diskuterats, inte en dynamiskt bestämd metod. Detta innebär att det kommer att uppstå vissa fel. Tanken när detta sätt valdes var att dessa avvikelser ska vara så små att de inte försämrar funktionen nämnvärt. Som simuleringsförsöken visade var avvikelserna små i de flesta fall. När traktorn styrdes i en sicksack-bana blev avvikelsen större. Detta visade sig vara det svåraste fallet för regulatorn att kompensera för vilket gav upphov till en avvikelse på ca 40 mm enligt figur 42 (vänstra plotten). Det som händer när traktorn kör efter en sådan bana är att vagnstyrningsvinkeln ändras väldigt mycket. Denna ändring är begränsad i hastighet, då hydraulcylindrar är långsamma. Resultatet av denna begränsning blir att vagnstyrningsvinkeln inte hinner ändras så snabbt som behövs för att kompensera på ett korrekt sätt. För att visa detta ökas den tillåtna vinkeländringen och simuleringen körs igen. Detta ger ett bättre resultat vilket visas i figur 42 (högra plotten). Nu uppgår avvikelsen bara till ca 20 mm.



Figur 42. Till vänster, avvikelsen vid långsam vinkeländringshastighet. Till höger, avvikelsen vid fördubblad vinkeländringshastighet.

Denna avvikelse är såklart inte önskvärd men med tanke på att hela ekipaget är närmare 10 meter långt är detta ändå inte mycket.

Tester på det verkliga fallet visade ett liknande resultat. Om traktorn svängde snabbt i högre hastigheter hinner inte vagnstyrningen kompensera för detta och då kan avvikelsen bli hög. Om däremot hastigheten är så låg att hydrauliken inte begränsar förloppen blev avvikelsen väldigt liten.



Figur 43. Test av prototypsystemet på åker med lös jord där hjulspåren syns tydligt.

Att på ett exakt sätt mäta resultatet är i detta fall ganska svårt. Som tidigare beskrivits utfördes mätningar genom att ekipaget kördes på en åker med lös och jämn jord där hjulen lämnar tydliga spår. Se figur 43. Avståndet mellan spåren mättes sedan för att bestämma hur väl vagnen följer traktorns hjulspår. Detta visade en maximal avvikelse på 20-30 mm då hastigheten var låg.

## 9 DISKUSSION OCH SLUTSATS

Resultatet av tester av det fullskaliga systemet visade sig vara nästan identiskt med det simulerade resultatet. Detta visar att den matematiska modellen av traktor och vagn-ekipaget är tillräckligt exakt. Den avvikelse som uppstår beror med all sannolikhet på att modellen som resonemanget utgår ifrån inte är entydigt i det dynamiska fallet. Med tanke på det blev resultatet bättre än förväntat. Avvikelsen mellan körbanorna på maximalt 30 mm kan anses vara försumbara i sammanhanget.

Systemets begränsning ligger i ekipagets färdhastighet vid stora vinkeländringar. För att kunna garantera att systemet hinner med måste vagnen framföras långsamt. Det finns vissa åtgärder som skulle kunna öka vinkeländringshastigheten och göra systemet okänsligare i detta avseende. Det som i dagsläget begränsar hydraulflödet är den proportionalventil som används. Den har en begränsning på ca 20 l/min. Som tabellen i kapitel 7.7 visar har cylindrarna som används en tryckande slagtid på 3,27 sekunder och en dragande slagtid på 2,43 sekunder. De två cylindrarna är ihopkopplade så att den ena trycker när den andra slår. Det innebär att konstruktionen får en total slagtid på 5,7 sekunder. Om en större proportionalventil istället används som tillåter t.ex. 40 l/min kommer denna tid att halveras. Om klenare cylindrar används kommer dessa att behöva mindre olja. Detta ökar också slaghastigheten.

Å andra sidan är konstruktion avsedd för körning i skogen där underlaget ofta är ojämnt och vägen krokig. Detta medför att skogsvagnar alltid framförs med låg hastighet i skogen och därför kommer denna begränsning inte att vara något problem. Vid vägkörning då hastigheten är högre brukar vagnstyrningsfunktionen inte användas och det finns sällan några hinder som måste undvikas.

En annan begränsning att beakta är vagnstyrningens maximala vinkel. Alla vagnar har en begränsning av det intervall vagnstyrningen kan ställas i. Detta medför att vid en viss styrvinkel på traktorn så innebär en optimal kompensation ett maximalt vagnstyrningsutslag. Om traktorns styrvinkel ökas kommer vagnen inte längre att kunna kompensera. Detta problem finns redan på skogsvagnar idag och beror på hur dessa är utformade. Ett problem som kan uppstå när regleringen sker automatiskt är att föraren inte har lika bra uppsikt över vagnen som denna hade haft då regleringen var manuell och inte ser att vagnstyrningen har nått sitt ändläge. Detta skulle enkelt kunna avhjälpas genom att ge föraren någon typ av varning när vagnstyrningen nått sitt maxläge.

I avsnitt 3.2 jämfördes olika strategier för att bestämma hur ekipaget färdas. Av de två genomförbara alternativen valdes det informationsmässigt sämre, nämligen att enbart mäta vagnstyrningsvinkel och dragvinkel. Detta gjordes för att på bästa sätt kunna uppfylla målet att systemet ska vara fristående, enkelt att använda och ekonomiskt möjligt att bygga på befintliga skogsvagnar. Genom att bara göra mätningar på vagnen minimeras påbyggnationen på traktorn vilket är att föredra. Detta gör det lätt att koppla bort vagnen och använda traktorn till annat, eller att använda en annan traktor till vagnen. Ombyggnationen för att montera systemet på en befintlig vagn är också minimalt. Vagnstyrningsvinkelmätningen utförs genom att byta en hydraulcylinder och dragvinkelmätningen med en sensor som enkelt monteras i befintliga fästen. En enkel



installationsprocess gör också ombyggnationen billigare. Detta gör att det inte blir mycket dyrare att bygga på systemet i efterhand än vid nyproduktion.

En sak att diskutera är behovet av displayen ur användarsynpunkt. Under utveckling, testning och konfiguration är skärmen till mycket stor hjälp då detta möjliggör att, när systemet körs, att kunna avläsa värden, logga händelser och ställa in parametrar. När systemet väl är i bruk blir displayen inte längre lika nödvändig. Det är såklart alltid bra att kunna avläsa de uppmätta vinklarna, hydraulflöde och referensvinkel men i huvudsak används den till att byta mellan lägen och ställa in önskad vinkel i det manuella läget. Detta skulle kunna åstadkommas med en mindre avancerad enhet.



Figur 44. Knappsats med vred [12]

En möjlig ersättare till displayen är en enklare knappsats med en ratt, t.ex. den i figur 44. Knapparna kan användas för att byta mellan de olika lägena och ratten till att enkelt kunna ställa vagnstyrningen i manuellt läge. Inställningar skulle med denna lösning bli avsevärt mycket svårare. Å andra sidan så behöver detta inte göras då systemet är inställt. Om flera olika traktorer används till samma vagn och dessa har olika geometrier ställer detta till problem. Det skulle kunna lösas genom att varje traktor programmeras in från början och dessa inställningar kan bytas mellan med en av knapparna. Informationsavläsning blir svår utan display men då systemet är konfigurerat är detta inte nödvändigt. Poängen med systemet är ju just att det ska vara automatiskt. Denna lösning bibehåller användarens möjlighet att interagera med systemet i den mån som krävs, vilket var en del av målet.

## 10 FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE

Detta arbetets syfte var att ta fram en modell för hur en automatisk vagnstyrning kan implementeras samt att bygga en prototyp av denna modell. Arbetes resultat har en bit kvar till att kallas en produkt och därför finns ett par områden att arbeta vidare med.

När ett skogsekipage med vagnstyrning backas kan föraren få mycket hjälp av en manuell vagnstyrning. När ekipaget med automatisk vagnstyrning backades arbetade vagnstyrningen åt fel håll. Det gick att ta sig bakåt men detta var mycket svårare än om reglersystemet stängdes av. Det vore intressant att utreda om det går att utnyttja reglersystemet för att underlätta även backning.

En tanke, från en person insatt i skogsbranschen, framkom under systemets testfas. Vid körning över blöta marker med dålig bärighet är det önskvärt att vagnens hjul inte ska gå i traktorns spår utan tvärt om, gå där traktorn inte redan kört. Detta för att minimera körskador på underlaget. Det är därför önskvärt att vidare utreda om en omvänd vagnföljning skulle kunna implementeras på det befintliga styrsystemet.

Systemet anses redan vara enkelt och ekonomiskt att bygga på befintliga skogsvagnar. Det mest kostsamma är att byta till en hydraulcylinder med lägesmätning. Detta beror på att dessa cylindrar måste specialbeställas för att passa just den önskade vagnen. Dragvinkelmätaren är konstruerad på ett så generellt sätt att den ska passa alla vagnar. Det vore önskvärt att även vagnstyrningsvinkelmätaren vore så generell. Därför vore det intressant att utreda hur detta skulle kunna åstadkommas.

Som nämndes i diskussionen vore det önskvärt att öka hastigheten på vagnstyrningsvinkelförändringen. Om detta går att göra så att hastigheten blir avsevärt mycket högre kan detta få effekter på hur regleringen fungerar. Det behöver därför utredas vidare och testas.

# 11 REFERENSER

- [1] Szakács, Tamás. (2010). *Developing Stability Control Theories for Agricultural Transport Systems*. Acta Polytechnica Hungarica (Vol. 7, No. 2): 25–37.
- [2] Dillman, Christoph et. al. (2012). *Intelligent steering*. Landtechnik (67, no. 4): 260–264.
- [3] John Deere. 2005. *Automatic Tracking Steering Drawbar*. John Deere.  
[http://manuals.deere.com/omview/OMWZ72411\\_19/WZ00085\\_000039C\\_19\\_31AUG05\\_1.htm](http://manuals.deere.com/omview/OMWZ72411_19/WZ00085_000039C_19_31AUG05_1.htm) (Hämtad 2017-04-09).
- [4] iTill. 2017. *Sterable drawbar*. Agriparts. <http://www.itill.com/about-itill/> (Hämtad 2017-05-23).
- [5] Blomkvist, P.& Hallin, A. (2015). *Metod för teknologer*. Lund: Studentlitteratur
- [6] Årzén, K-E. (2014). *Real-Time Control Systems*. Lund: KFS
- [7] Corrigan, Steve. (2002). *Introduction to the Controller Area Network (CAN)*. Texas Instruments. SLOA101B. <http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>
- [8] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISO11898-2.svg?uselang=sv>, EE JRW, Creative Commons, <https://creativecommons.org/>
- [9] Lada, Piotr; Applikationsingenjör, Dasa Control Systems AB. 2017. CANBUS, Dither, CODESYS och Projektor Tool. Föreläsning 16 mars.
- [10] Katoh, Hiroshi (2002). *Precise positioning control for a hydraulic motor system with dead zone using a state feedback neural network*. Fluid Power. Fifth JFPS International Symposium (C)2002 JFPS. ISBN4-931070-05-3: 299-204.
- [11] Regal (2017). Vinkelgivare 9360. <http://www.regal.se/produkter/vinkelgivare-9360> (Hämtad 2017-04-23).
- [12] Blink marine (2017). Powertrack. <http://www.blinkmarine.com/up/2016/12/Blink-Marine-POWERTRACK-Datasheet-2016-12-21.pdf> (Hämtad 2017-05-19).

# BILAGOR

## BILAGA 1 – DATABLAD KONTROLLER



# dC26 – Controller

*Programmable electronic control unit  
for vehicles and machines with CAN-Bus*

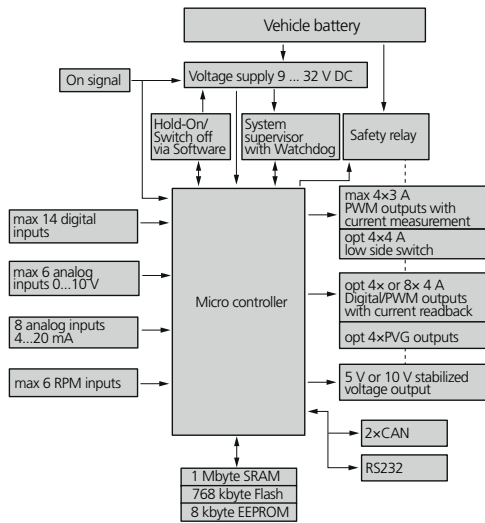


### Technical data

<b>Processor System</b>		<b>System data</b>	
Processor	Infineon XC2287, 16 Bit, $f_{CPU} = 80$ MHz system supervisor with Watchdog	Voltage supply	9 ... 32 V DC
SRAM	1 MByte	Current requirements	approx. 100 mA without external load, Stand-by < 1.5 mA, max. total current 11 A
Flash	768 kByte	<b>Mechanical data</b>	
FRAM/EEPROM	8 kByte	Connector	42 pol. automotive type
<b>Interfaces</b>		Chassis	IP65 and IP69k
CAN	2 x CAN 2.0 B (11 bit and 29 bit identifier), Low- / High-Speed up to 1 Mbit/s	Weight	0.3 kg (0.67 lbs)
RS232	programmable baud rate (max. 230400 baud)	Dimension	approx. 134 mm x 117 mm x 36 mm (5.28" x 4.61" x 1.42")
<b>In-/Outputs (max. 26)</b>		<b>EMC, Environmental requirements</b>	
Digital inputs	max. 14 digital inputs, high-/low-active (software configurable), threshold level free configurable, short-circuit protected	Requirements	According to automotive, agricultural and construction industry standards, CE-conformity E1-approval from Kraftfahrt Bundesamt
RPM inputs	max. 6 RPM inputs, $f_{cutoff} = 7$ kHz, threshold level free configurable, short-circuit protected	Operating temperature	At work: -40°C ... +80°C (-40°F to +176°F) chassis temperature
Analog inputs	max. 6 analog inputs, 0 ... 10 V, 10 Bit, short-circuit protected 8 analog inputs, 4 ... 20 mA, 10 Bit, short-circuit protected	<b>Software</b>	
Digital/PWM outputs with current measurement	max. 4 x 3 A, high side switch, 0 ... 100%, short-circuit protected, diagnosable opt. 4 x 4 A, additional low side switches, applicable as a motor bridge, short-circuit protected, diagnosable	Assigning of application software	Freely programmable in "C" (high level API-library included) or CODESYS (IEC61131)
Digital/PWM outputs with current readback or PVG outputs	opt. 4 x or 8 x 4 A, high side switch, short-circuit protected, diagnosable opt. 4 x PVG outputs used for Danfoss valves (20% $U_b$ ... 80% $U_b$ )		
Stabilized voltage output	5 V or 10 V (max. load current 100 mA), stabilized supply voltage, short-circuit protected (ex. sensors power supply)		

## dC26 – Technical data

### Block diagram

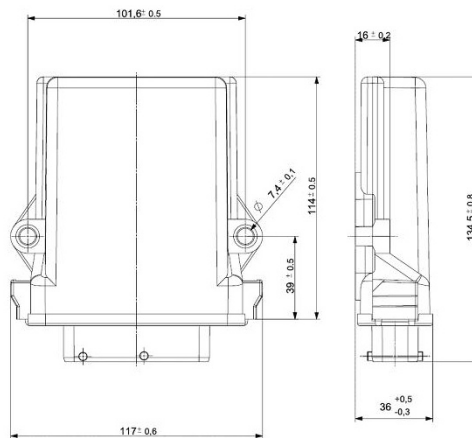


### Weight

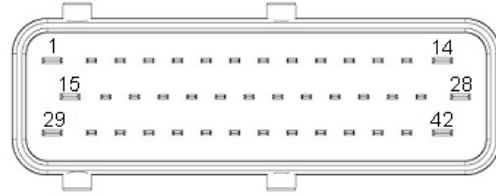
Weight approx. 0.4 kg

### Dimensions

Dimensions are in mm



### Pin assignment



Part number AMP:  
Housing (1): 1-0967281-1  
Crimp contact big 1,0 mm (6): 929940-1  
Crimp contact small (34): 963711-1  
Singlewire big 1,0 (6): 828904-1  
Singlewire small (34): 963530-1

PIN	Option 1	Option 2	Option 3
2	DIN / RPM IN	DIN / RPM IN	DOut
3	DIN / RPM IN	DIN / RPM IN	DOut
4	DIN / RPM IN	DIN / RPM IN	DOut
5	DIN	DIN	DOut
6	PWM Out	PWM Out	PWM Out / LS
7	PWM Out	PWM Out	PWM Out / LS
8	PWM Out	PWM Out	PWM Out / LS
9	PWM Out	PWM Out	PWM Out / LS
10	DIN	PVG	DOut
11	DIN / RPM IN	PVG	DOut
12	DIN / RPM IN	PVG	DOut
13	DIN / RPM IN	PVG	DOut
20	UIN (0 ... 10 V) / DIN		
21	UIN (0 ... 10 V) / DIN		
22	UIN (0 ... 10 V) / DIN		
24	IIN (4 ... 20 mA)		
25	IIN (4 ... 20 mA)		
26	IIN (4 ... 20 mA)		
27	IIN (4 ... 20 mA)		
32	+5Vext or +10Vext		
34	UIN (0 ... 10 V) / DIN		
35	UIN (0 ... 10 V) / DIN		
36	UIN (0 ... 10 V) / DIN		
38	IIN (4 ... 20 mA)		
39	IIN (4 ... 20 mA)		
40	IIN (4 ... 20 mA)		
41	IIN (4 ... 20 mA)		

*Dasa is a leading supplier of advanced computerized control and communication systems for heavy vehicles. We develop and manufacture systems, based on high technical expertise, for control and information management together with complete applications for forest harvesting.*



**Dasa Control Systems AB** Hammerdalsvägen 3, SE-352 46 Växjö, Sweden, Phone +46 470-77 09 50, www.dasa.se



# dDI4 – 4" display with softkeys



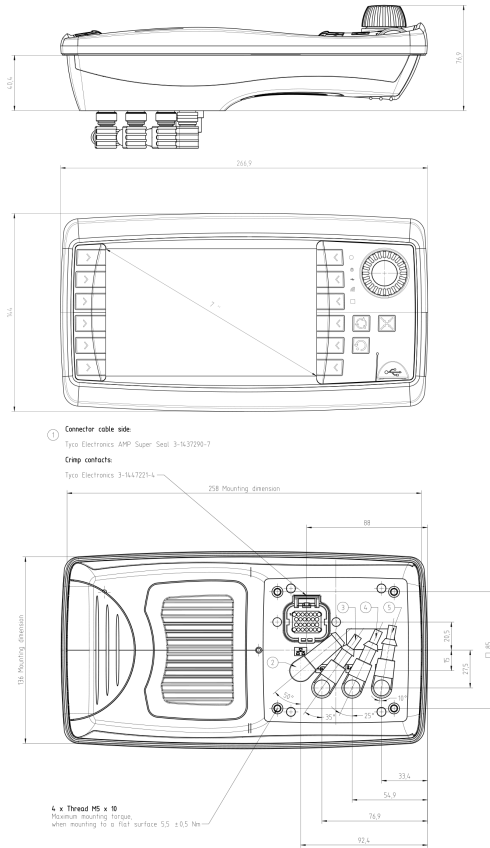
## Technical data

<b>Processor System</b>		<b>Protection Level (IP)</b>	
Type	TFT Color Graphic LCD with LED backlight	IP 6k5 according to ISO 20653	Road Vehicles – Degrees of protection (IP-Code) – Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access
Size	4.3", 95 mm (W) x 53 mm (H)		
Resolution	480 x 272 px (WQVGA), 15:9		
Colors	16.7 Mio.		
Brightness	typ. 400 cd/m²		
Contrast Ratio	typ. 400:1		
<b>Input devices</b>		<b>Connectors</b>	
Touch	PCT	Main	AMP Seal, 26 pin Mating connector Tyco-AMP 3-1437290-7 Mating crimp contact Tyco-AMP 3-1447221-4 Dummy Plug Tyco AMP 4-1437284-3
Left Keypad	4 keys with tactile feedback Blue LED backlight	Video	M12 round connector, female, 5-pole, B-coded, acc. to EN 61076-2-101
Right Keypad	4+3 keys with tactile feedback Blue LED backlight	Ethernet	M12 round connector, female, 4-pole, D-coded acc. to EN 61076-2-101
Indicators and Sensors	Light sensor 1 Multicolor-LED 3 Status-LED's		
Encoder	Electromechanical encoder with 16 mechanical detents and push function		
<b>Interfaces</b>		<b>Software</b>	
1.	CAN Bus 2 x CAN-Interfaces according to ISO 11898, CAN specification 2.0 B active, up to 1 Mbit/s (default 250 Kbit/s, 500 Kbit/s, 750 Kbit/s and 1 Mbit/s)	Assigning of application software	Codesys-Tools (3.5) Projektor Tool C/C++ (QT4) Optional: ISO-VT
2.	RS232-Interface (only Rx/D, Tx/D, GN) max. 115 Kbps		
3.	USB Host 2.0 Main connector: 1 x Full speed On front: 1 x USB slot High speed		
4.	4 configurable analog/digital inputs		
5.	3 digital outputs		
6.	Video-Interface Inputs: 1x analog		
7.	Ethernet-Interface 1 x 10/100 Mbit/s Base T		

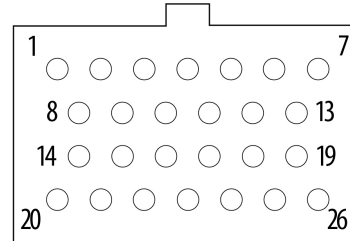
## dDI4 – Technical data

### Dimensions

Dimensions are in mm



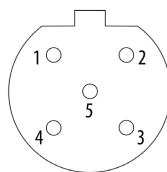
### Main connector pinout



Pin No.	Assignment	Description
1	VCC	supply voltage +; terminal 30
2	Ignition Input	ignition input; terminal 15
3	GND	supply voltage - ; terminal 31
4	CarGND	Car GND
5	n. c.	Not connected
6	n. c.	Not connected
7	n. c.	Not connected
8	CAN1H	CAN 1 high
9	CAN1L	CAN 1 low
10	CAN2H	CAN 2 high
11	CAN2L	CAN 2 low
12	USB_VCC	USB +5V supply
13	USB_GND	USB supply GND
14	USB_D-	USB Data -
15	USB_D+	USB Data +
16	RS232 RxD	RS232 receive data
17	RS232 TxD	RS232 transmit data
18	RS232 GND	RS232 GND
19	A/DI3	analog/digital input 3
20	A/DI1	analog/digital input 1
21	A/DI2	analog/digital input 2
22	A/DI4	analog/digital input 4
23	SERV_EN	service enable
24	DO3	digital output 3
25	DO1	digital output 1
26	DO2	digital output 2

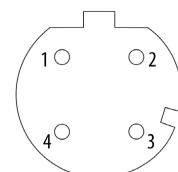
### Video connector pinout

Pin No.	Description
1	VidSig+
2	Mirror
3	Camera+
4	Camera -
5	VidSig GND



### Ethernet connector pinout

Pin No.	Description
1	TD+
2	RD+
3	TD -
4	TD +



*Dasa is a leading supplier of advanced computerized control and communication systems for heavy vehicles. We develop and manufacture systems, based on high technical expertise, for control and information management together with complete applications for forest harvesting.*

**CONTROL SYSTEMS**  
**dasa**

**Dasa Control Systems AB** Hamnerdalsvägen 3, SE-352 46 Växjö, Sweden, Phone +46 470-77 09 50, [www.dasa.se](http://www.dasa.se)