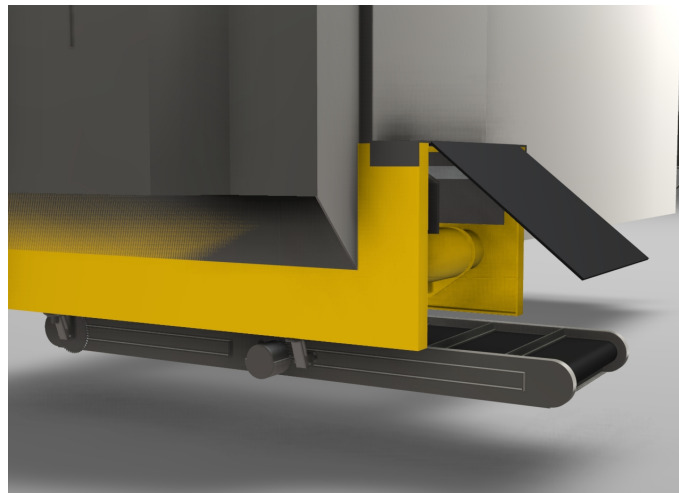


Design och vidareutveckling av
helautomatiserad utfodring.
Simulering, programmering och
konstruktion



Joshua Safonovs	890425-7410	<i>Automation & Mekanik</i>
Martin Krogh	900730-4877	<i>Automation & Mekanik</i>
Johannes Samuelsson	890508-7618	<i>Automation & Mekanik</i>
Hampus Tengfjord	900601-2133	<i>Automation & Mekanik</i>
Kathrin Dahlberg	890402-4901	<i>Maskinteknik</i>
Jonatan Eriksson	891107-4956	<i>Maskinteknik</i>

Kandidatarbete PPUX-03-12-03
Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2012

Design och vidareutveckling av helautomatiserad utfodring.

Simulering, programmering och konstruktion

JOSHUA SAFONOV

MARTIN KROGH

JOHANNES SAMUELSSON

HAMPUS TENGFJORD

KATHRIN DAHLBERG

JONATAN ERIKSSON

©JOSHUA SAFONOV, MARTIN KROGH, JOHANNES SAMUELSSON,
HAMPUS TENGFJORD, KATHRIN DAHLBERG, JONATAN ERIKSSON,
2012

Kandidatarbete 2012: PPUX-03-12-03

ISSN

Institutionen för Produkt- och Produktionsutveckling

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

Omslag:

Visualisering av lösning externt transportband

Tillkännagivanden

Tack till mjölkbonden Roger Jerrhagen för studiebesöket på hans gård, Per Nyqvist och Jonatan Berglund för handledningen under arbetet samt Göran Brännare för sin hjälp och utlåning av ställdon.

Abstract

During recent decades the agricultural industry has been undergoing a process of automation. Problems may arise when trying to implement modern technology into ageing facilities that were not initially constructed with this new technology in mind. The paper aims to highlight one facility that has been having problems with properly distributing food to its cattle. The feeding machine that is used is too narrow so much of the food is placed out of reach for the cows. This results in unwanted manual labour. Two separate solutions has been created; one specifically for the facility in question and another one more general and complex. The specific solution was built as a prototype for demonstration purposes and works like a conveyor belt with the added function of being able to move laterally. The general solution works much like an autonomous robot. Similar agricultural robots already exist on the market but are expensive. Because of this the general solution was created with cost as the main concern. Both solutions can be implemented in the studied facility.

Sammanfattning

Under de senaste decennierna har jordbruksindustrin undergått en automatiseringsprocess. Problem kan uppstå när den moderna teknologin skall implementeras i äldre ladugårdar som inte ursprungligen byggdes med denna nya teknologi i åtanke. Rapporten åsyftar att belysa en specifik anläggning som har haft problem med utfodringen av sitt boskap. Fodermaskinen som används är för smal vilket leder till att en stor del av fodret placeras utom räckhåll för korna med onödigt manuellt arbete som följd. Två separata lösningar har tagits fram; en specifikt för anläggningen ifråga och en annan mer generell och komplex. Den specifika lösningen byggdes som prototyp i demonstrationssyfte och fungerar som ett transportband som även kan förflyttas i sidled. Den generella lösningen fungerar likt en autonom robot. Liknande jordbruksrobotar finns i dagsläget redan på marknaden men är kostsamma. På grund av detta utformades den generella lösningen med kostnaden i åtanke. Båda lösningarna kan implementeras på den studerade anläggningen.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	4
1.3	Mål	4
1.4	Problem	5
1.5	Avgränsningar	6
1.6	Metod	6
2	Teori	8
2.1	Sensorer och induktiva givare	8
2.2	Styrning PLC	8
2.3	Styrning Mikroprocessor	9
2.4	CATIA V5	10
2.5	3D-scanning	10
2.6	Induktiv guidning	10
3	Genomförande	12
3.1	Studiebesök	12
3.2	Konceptgenerering	13
3.3	Simulering	18
3.4	Programmering PLC	19
3.5	Programmering mikroprocessor	19
3.6	Prototyp tillverkning	20
4	Resultat	21
4.1	Spår ett	21
4.2	Spår två, Soprobot med saxande stänger	28
5	Diskussion	32
5.1	Spår ett	32
5.2	Spår två	36
6	Slutsatser	37
A	Kravspecifikation	40
B	Lösningförslag spår ett	41
C	Lösningförslag spår två	44

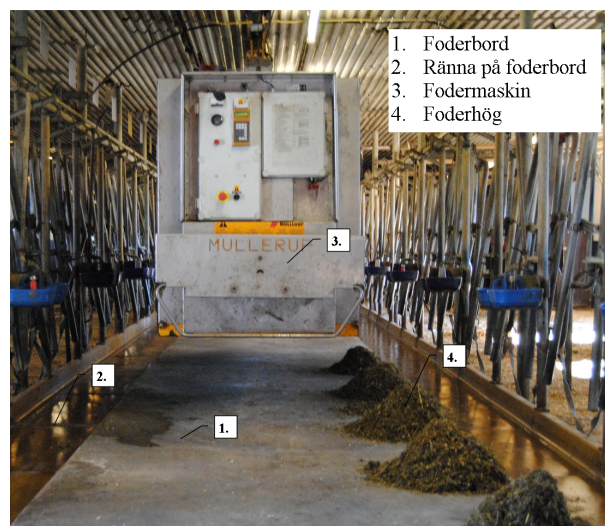
D	Beräkningar på den vertikala kraften på rullbandet	48
E	Experiment med ramp	52
F	Flödesschema transportband	54
G	Flödesschema soprobot	55
H	Reglering	56
I	Mätningar och datainsamling från studiebesök	61

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Dagens jordbruk är i hög grad automatiserat för att klara den stigande matproduktionen samt de ökande priserna på arbetskraft (Borg, 2004). Då en så bra avkastning som möjligt på produktionen vill uppnås är det viktigt att varje ko får den maten den behöver. Med en individuellt anpassad utfodring till korna kan mjölkproduktionen maximeras. Många företag har redan idag utvecklat automatiska utfodringsmaskiner som främst passar de moderna ladugårdarna. Med denna automatisering kan lantbrukare spara både tid och arbetskraft men det kan uppstå problem då det fortfarande finns många ladugårdar kvar från äldre produktionssätt. Komplikationer kan förekomma när de nya maskinerna skall implementeras i den äldre miljön.

I projektet studerades en anläggning som hade problem med en fodermaskin som felplacerar fodret på foderbordet, se figur 1. I dagsläget krävs en betydande del manuellt arbete på anläggningen, se figur 2. Utplaceringen av fodret sker automatiskt men då fodret hamnar på fel plats måste detta åtgärdas manuellt. Det manuella arbetet är tidskrävande och effektiviteten av den automatiska utfodringen går då delvis förlorad. Det är således önskvärt att hela utfodringsprocessen automatiseras.



Figur 1: Fodermaskin som felplacerar fodret på foderbordet.



Figur 2: Foderbordet som uppdragsgivaren står på, fodermaskinen samt fel-placeringen av djurfodret.

1.1.1 Beskrivning av anläggningen

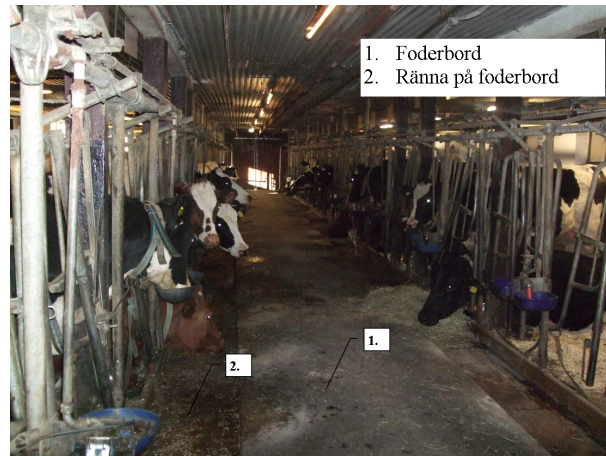
Anläggningen består av en äldre ladugård som huvudsakligen kan delas upp i två delar. Ena delen, som hädanefter benämns "huvudlängan", är en lång korridor där boskapet står i bås på ömse sidor, se figur 3. På vardera av dessa sidor har golvet en nedsänkning likt en ränna. Hela golvet utgör boskapets foderbord men rännorna är till för att hålla fodret. Rännorna underlättar också rengöringsarbetet när djuren ätit klart. I den här delen finns plats för 42 djur. I den andra delen av ladugården, som hädanefter benämns "sinko-delen", står boskap enbart på en sida av korridoren, se figur 4. Sinko-delen ligger i direkt anslutning till huvudlängan och är betydligt mindre. Här finns ingen nedsänkning i golvet och korridoren är kort och dessutom smalare än huvudlängan. I denna del sker även en påfyllnad av foder. Sinko-delen har utrymme för fyra djur.

Utöver dessa två delar så finns ett utrymme där den befintliga fodermaskinen förvaras och laddas mellan utfodringsvändorna. Utrymmet ligger utomhus fast väl skyddat av tak och är avskärmat från huvudlängan av en garageportsliknande anordning. Här startas fodermaskinen automatiskt vid varje utfodringsvända.

1.1.2 Beskrivning av befintligt system

I dagsläget används en fodermaskin, modell SmartFeeder Kombi M2000, levererad av Mullerup. Maskinen har ett flertal behållare till fodret som skall delas ut. Innan varje utfodringsvända fylls behållarna med olika typer av

foder som sedan vid varje avlämningsplats, eller bås, blandas ihop varpå ett transportband beläget på undersidan av maskinen startas.



Figur 3: Huvudlängan av foderbordet.



Figur 4: Sinko-delen.

Foderblandningen ramlar sedan ned på transportbandet som snabbt forslar ut detta via en lucka vid änden av bandet. När fodret når luckan så ramlar det rakt ned på foderbordet där en hög således bildas.

Maskinen har i uppgift att placera ut foder åt 46 kor i en ladugård. Maskinen rör sig utefter en balk som är upphängd ovanför huvudlängan och sinko-delen. Ladugården är utformad så att maskinen lägger ut foder åt 21 kor på ena sidan av foderbordet i huvudlängan där den stannar vid varje enskilt djur för att mäta upp, blanda och lägga ut dess foder. Maskinen svänger sedan in i sinko-delen av ladugården där fyra stycken kor står. Dessa djur befinner sig i sin, vilket innebär att de får en anordnad sammansättning av foder som är mer fiberrik och har mindre energi (Nilsson, 2006). Maskinen stannar i borte änden av denna del av ladugården och återfylls med kraftfoder, se figur 4. Därefter placerar maskinen ut fodret åt de fyra djuren i sin för att sedan svänga tillbaka till huvudlängan där den placerar ut fodret till de resterande 21 djuren. Varje ko har en individuellt utformad diet som är framräknad utifrån hur mycket kon mjölkar. Fodermaskinen programmeras därför till att kunna leverera rätt foderblandning till rätt ko.

1.2 Syfte

Det för projektet huvudsakliga syftet är att på ett tillfredsställande sätt lösa det bakomliggande problemet med den automatiska fodermaskinen på anläggningen och på så sätt underlätta arbetsbördan för de som arbetar där.

1.3 Mål

De mål som gruppen har identifierat och ämnar uppfylla under projektets gång är:

- Utforma en lösning för helt automatiserad utfodring som fungerar i den studerade befintliga miljön.
- Utforma ett system för automatisering av utfodringsprocessen som löser de delproblem som formulerats.

1.4 Problem

Problemet som finns i dagsläget bygger på att det är angeläget att varje ko får sitt foder rätt utplacerat och att det inte sprids över för stor yta på foderbordet. Maskinen är smalare än foderbordet längs huvudlängan vilket gör att fodret hamnar en viss distans från boskapet på foderbordet, se figur 1. Detta gör också att djuren sprider fodret över en större yta på foderbordet än vad som är önskvärt. Maskinen skulle därför behöva en tillbyggnad för att säkerställa att fodret kan placeras ända intill korna men eftersom sinkodelen av ladugården är smalare än huvudlängan så skulle en sådan enkel tillbyggnad ej få plats där. Det här innebär att med nuvarande lösning så är det bara korna i sin som får sitt foder korrekt utplacerat. När boskapet äter sprider de fodret över foderbordet så att de ibland inte längre kan nå det. Därför krävs i dagsläget manuellt arbete för att få fodret till korrekt plats under hela utfodringsprocessen. Projektet går ut på att automatisera detta sista steg. Ett antal delproblem har tagits fram som är viktiga att ta i beaktning:

- Resultatet får ej på något sätt förhindra foderrobotens arbete.
- Fodret måste levereras till rätt ko då de har individuell kost.
- Resultatets energiförsörjning.
- Får ej förhindra eller försvåra övrigt arbete i ladugården och inte heller vara i vägen för boskapet.
- Resultatet får ej på något sätt utgöra risk för boskapen.
- Resultatet måste vara skyddat från boskapen.
- Resultatet får ej utgöra risk för person eller egendom.
- Resultatet måste kunna utföra sin uppgift på rätt plats i rätt tid.
- Resultatet måste gå att förvara så att den inte förhindrar eller försvårar övrig aktivitet i ladugården då det inte används.

1.5 Avgränsningar

För att projektet skall hållas inom rimliga ramar görs vissa avgränsningar av projektet. Nedan listas avgränsningar som ansett vara nödvändiga ur resurs- och tidsaspekt.

- Projektet kommer ej resultera i en produkt som är färdig för installation.
- I första hand skall det givna problemet lösas och ett allmänt resultat är att betrakta enbart som en bonus.

1.6 Metod

De olika metoderna för datainsamling och lösningsvisualisering som användes under projektet redovisas nedan.

- Informationsinsamlingen genomfördes med hjälp av ett studiebesök på anläggningen, intervju med uppdragsgivaren samt informationssökning om fodermaskiner och andra lantbruksrobotar från olika företag, som DeLaval, Lely och Mullerup. Dessutom genomfördes en 3D-scanning av ladugården som underlag för senare CAD-modellering¹.
- 3D-scanning behandlades med programmet SceneLT från Faro. Med hjälp av programmet kan ett punktmoln bestående av ett stort antal mätpunkter insamlade med hjälp av en 3D-scanner behandlas och slås samman med bilder för att skapa en virtuell modell av den skannade miljön. I denna virtuella miljö kan sedan mått tas och detaljer undersökas utan tillgång till den faktiska platsen.
- 3D-modellering med hjälp av CAD-programmet CATIA² V5 från Dassault Systems. Detta program erbjuder möjligheten att göra detaljerade modeller av konstruktionen och utvärdera denna i ett tidigt skede och valdes för att förståelsen för de olika lösningsförslagen skulle öka. Modelleringen låg som grund till en simulering över utfodringsprocessen.

¹Computer Aided Design, datorstödd 3D-modellering

²Computer Aided Threedimensional Interactive Application

- Simuleringsprogrammet RobotStudio 5.13 från ABB användes för att simulera hela utfodringsprocessen. Programmet använder sig av 3D-modeller från CAD-program och möjliggör att modellernas inbördes rörelser och övergripande funktioner i en process kan animeras och undersökas.
- PLC-programmering³ utfördes i Siemens SIMATIC STEP 7 Professional för att kunna styra de rörliga delarna och dess motorer i rätt sekvens. Med hjälp av yttre data från sensorer placerade i ladugården så kunde programmet veta vart och när de olika sekvenserna skulle ske.
- Prototypbygge skedde i Chalmers prototypplabb. Bland annat svetsning, svarvning och fräsning utfördes i verkstaden.

³Programmable Logic Controller

2 Teori

Här beskrivs den teknik som använts i genomförandet av projektet och anses kräva förklaring.

2.1 Sensorer och induktiva givare

Den fodermaskin som är installerad i ladugården idag får sina signaler från en induktiv givare. Med hjälp av denna givare kan den läsa av positioner i ladugårdens interiör då objekten som den induktiva givaren känner av är placerade på strategiska ställen i ladugården.

Induktiva givare reagerar på de flesta olika sorters metaller men med varierande sensitivitet beroende på metallens sort. En induktiv givare har många fördelar i jämförelse med traditionella mekaniska brytare då de fungerar beröringsfritt, det vill säga inget slitage förekommer samtidigt som de har hög kopplingsfrekvens och hög noggrannhet. De är dessutom okänsliga mot vibrationer, smuts och fukt (ELFA AB, 2007).

2.2 Styrning PLC

En PLC är en dator som främst används inom automation, den är dock väldigt allsidig och används mer och mer inom andra områden. PLC är designad för att hantera många in- och utsignaler. Det är en driftsäker lösning som tål höga och låga temperaturer, vibrationer, stötar och elektriskt brus väl. Styrprogrammen lagras antingen på icke-flyktiga minnen alternativt minnen som har energibackup för att bibehålla driftssäkerheten vid eventuella strömavbrott (Skolarbete.nu, 2012).

En PLC kan endast köra ett program i taget, dock är det möjligt att i programmet exekvera flera trådar samtidigt så att flera processer styrs samtidigt. PLC:n arbetar med scancykler, i början av cykeln läses insignalerna in, programmet exekveras och utsignalernas värden beräknas och ändras. Tiden för en scancykel kallas ”scan time”, det används som ett prestandamått och indikerar hur snabb respons systemet har (Electro Cam, 2012).

Det finns många sätt att programmera en PLC, det skiljer sig oftast lite mellan olika tillverkare. De vanligaste principerna är LD⁴ och SFC⁵. LD infördes först och tanken var att efterlikna de reläskeman som tidigare användes.

PLC:n består av in- och utgångar, en processor samt ett minne. Minnet är uppdelat i tre delar:

- Systemminne - Innehåller tillverkarens program och operativsystemet.
- Programminne - Där användaren lagrar programmen som sedan körs av operativsystemet.
- Dataminne - Lagrar data under exekveringen (ELFA, 2007).

2.3 Styrning Mikroprocessor

En mikroprocessor är huvudkomponenten i alla datorer, inklusive tidigare nämnda PLC. Den består av ett enda chip med alla kretsar som behövs för att styra logiken i ett system samt minne och i vissa fall även enklare I/O-interface (Computing history museum, 2012). Fördelen med att använda en mikroprocessor gentemot en mer avancerad PLC är framförallt att de är extremt mycket billigare. I system som inte är alltför komplexa behövs inte de mer avancerade funktionerna hos en PLC och en mikroprocessor är då att föredra. De erbjuder också möjligheten att programmera i flera språk än de tillverkaren valt förutsatt att det finns tillgång till en lämplig kompilator. Eftersom mikroprocessorn endast utgör själva hjärtat i ett styrsystem kan en del övriga komponenter behövas beroende på uppgift.

En av de stora nackdelarna med att använda en lös mikroprocessor är att driftsäkerheten inte kan garanteras på samma sätt som med en PLC eftersom användaren själv måste stå för installation och skal med mera. Dessutom krävs mer kunskap för att konstruera ett fungerande styrsystem. Ytterligare en nackdel med en mikroprocessor jämfört med en PLC är att utsignalen endast är en styrsignal, vanligtvis 5 V, medan PLC:n erbjuder en utsignal på 24 V som är stark nog att direkt driva många typer av motorer och andra önskvärda utgångar.

⁴Ladder Diagram

⁵Sequential Function Chart

För att lösa detta använder man ofta mikroprocessorn tillsammans med en så kallad H-brygga. En H-brygga använder sig av reläer eller transistorer för att styra strömriktning över utgångar från en extern strömkälla, till exempel ett batteri. Styrsignalen från mikroprocessorn styr då dessa reläer helt oberoende från den externa strömkällan som kan dimensioneras efter behov.

2.4 CATIA V5

Med CATIA V5 kan avancerade 3D-modeller tas fram för att underlätta design inom de flesta industrier. Tack vare programstrukturen kan allt från tidiga designidéer till slutgiltiga produkter skapas. I programmet kan flera olika material väljas till olika visualiseringar. Dessutom kan även ritningar till de modellerade delarna skapas. I ritningen kan bland annat toleranser, skalor samt material anges (Dassault Systems, 2012).

2.5 3D-scanning

3D-scanning med Faro Scene LT fungerar så att ett 360-graders roterande laserhuvud mäter en stor mängd punkter i rummet som ges specifika koordinater, med hjälp av förutplacerade referenspositioner kan många avscannade ytor slås samman med mycket hög noggrannhet. Med hjälp av en 3D-scanning kan ett punktmoln bestående av alla mätpunkter behandlas och slås samman med bilder för att skapa en virtuell modell av den scannade miljön (Faro, 2012). I denna virtuella miljö kan sedan mått tas och detaljer undersökas för att enkelt återskapa miljön och göra förändringar i de flesta CAD-program.

2.6 Induktiv guidning

En AC-ström genom en elektrisk ledare skapar ett elektromagnetiskt fält som är starkare ju kortare avståndet är till ledaren. När det elektromagnetiska fältet går genom en spole skapas en ström som är proportionell till styrkan på fältet och avståndet. Styrantennen på en AGV⁶ som styrs med induktiv guidning har två spolar och den elektriska ledaren skall ligga mellan spolarna.

⁶Automated Guided Vehicle

Om ledaren är centrerad mellan spolarna kommer spänningen över dem vara samma, när AGV:n kommer bort från centrum skiljer sig spänningstyrkan och skillnaden används som styrsignal. Styrsignalen används för att reglera styrningen.

Ledarna använder olika frekvenser för att AGV:ns kretskort skall kunna särskilja dem. Styrningen på en AGV består av minst en antenn för guidningen och en antenn för att detektera positionsledare som är vinkelräta mot guidningsledaren. Positionsledarna syfte är att uppdatera AGV:ns position (AGV Electronics, 2012).

Amperes lag ger styrkan på det elektromagnetiska fältet runt en strömsatt ledare:

$$B = \frac{\mu_0 I_{ledare}}{\pi r} \quad (1)$$

Biot Savarts lag ger sambandet mellan styrkan på det elektromagnetiska fältet och strömmen genom spolen:

$$B = \mu_0 n I_{spole} \quad (2)$$

Amperes tillsammans med Biot Savarts lag ger sambandet mellan strömmen i ledaren (I_{ledare}) och strömmen i en spole (I_{spole}) med n antal varv.

$$I_{spole} = \frac{I_{ledare}}{\pi r n} \quad (3)$$

Den elektriska ledaren ligger vanligtvis 20 mm ner i golvet och skåran för en ensam ledare är vanligtvis 4 mm bred. Ledaren bör inte positioneras nära stora järnföremål då dessa kan störa magnetfältet. Med en ström på 100 mA i ledaren kan antennerna detektera avstånd på upp till 0,5 m (Schmidt, 2012)

3 Genomförande

Här redovisas arbetsgången för projektet och kortfattat de lösningsförslag som konceptgenereringen resulterade i.

3.1 Studiebesök

Ett studiebesök gjordes 19 januari 2012 på anläggningen. Syftet med besöket var att studera den befintliga miljön och den fodermaskin som verkar där i dagsläget. Det var vid det här laget inte klart vad uppdragsgivarens huvudproblem var med den nuvarande lösningen och det var således angeläget att han skulle förklara detta. Uppdragsgivaren intervjuades för att samla mer information om utfodringsprocessen så väl som verksamheten i helhet på gården. Fodermaskinens olika komponenter och dess utformning studerades. Tänkbara lösningar till problemet, redan existerande teknik samt viktiga säkerhetsaspekter diskuterades även för att bilda en så bra uppfattning om problemet som möjligt.

Klockan 14:50 startade den automatiska fodermaskinen sin runda och det dokumenterades med fotografi, videotagning och fodermaskinens olika processer och cykler klockades. De olika avstånden, främst vad avser den befintliga fodermaskinen och dess arbetsmönster, mättes upp och en ungefärlig mätning gjordes med dynamometer på hur stor kraft som krävdes för att kunna förflytta fodret längs ladugårdens golv. Mätningen genomfördes på så sätt att ett antal olika foderhögar i varierande storlek förflyttades med en kvast och en dynamometer användes till att trycka på kvasten. Mätningens syfte var att uppskatta den maximala kraft som krävs för att trycka fodret längs foderbordet, se bilaga H.

Fem olika 3D-scanningar gjordes i ladugården. Mätningarna täckte in planlösningen runt foderbordet samt fodermaskinen och dess förvaringsplats. För att bearbeta 3D-scanningspunkterna användes programmet SCENE-LT. Det ger en detaljerad 3D-bild av miljön med möjlighet att mäta och konvertera valda delar till CAD-modeller. En 3D-bild genererades av de fem scanningarna och programmets mätverktyg tillsammans med de tidigare utförda måttbandsmätningarna användes för att rita en förenklad CAD-modell av ladugården och fodermaskinen.

Detta gjordes i programmet CATIA V5. Modellerna skapades från grunden i CATIA och ingen annan programvara användes alltså för att modellera ladugårdsmiljön och fodermaskinen.

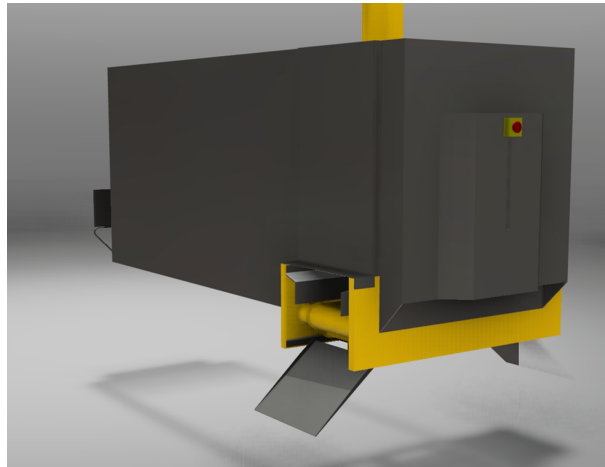
3.2 Konceptgenerering

I dagsläget används självgående robotar för att sköta diverse underhållsarbete i ladugårdar. En liknande robot vore en bra och generell lösning till problemet. Att bygga en prototyp av en självgående robot ansågs dock vara för komplicerat, både av gruppens medlemmar samt av handledare, och således ligga utanför projektets ramar. Att bygga en prototyp ansågs dock vara önskvärt och på grund av detta valde gruppen att gå vidare med två olika spår. Det första var en enklare lösning som ska monteras på den befintliga fodermaskinen och kunna använda sig av liknande teknik som denna. Till denna lösning skall en prototyp byggas. Det andra var att designa en självgående robot som hade kunnat resultera i en prototyp om resurserna varit större.

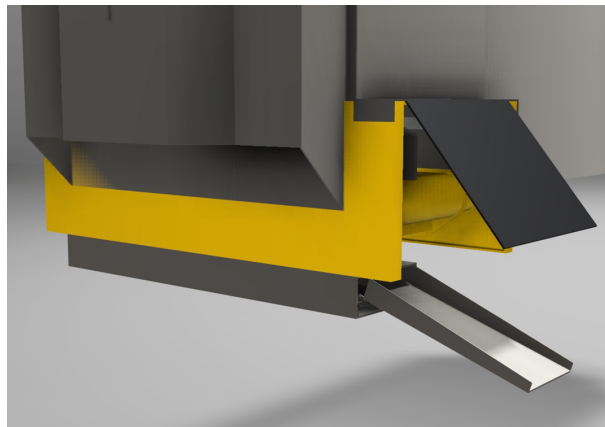
Processen för lösningssökning utgjordes av brainstorming och diskussion. En kravspecifikation skapades, se bilaga A, som sammanställde krav och begränsningar på lösningar tillsammans med de data som samlats in och CAD-modellen av ladugården. Kraven behandlade såväl säkerhet som funktionalitet. Med hjälp av kravspecifikationen genererades de två spåren.

3.2.1 Spår ett

Spår ett resulterade i fyra olika lösningsförslag. Två av dem använde en ramp för att förflytta fodret från transportbandet till foderrännorna. Det första förslaget var att modifiera de luckor som sitter vid transportbandets två ändar så att de fälls ned när fodret kommer, se figur 5. Det andra var att montera en utskjutbar ramp under fodermaskinen som förs ut innan transportbandet börjar rotera, se figur 6. De två resterande förslagen använde sig båda utav ett transportband. Skillnaden var att det ena modifierade det befintliga bandet så att det blev rörligt i sidled, se figur 7. Det i det andra förslaget lades till ett extra sidledsrörligt transportband som monteras under det befintliga, se figur 8. Lösningsförslagen var i formen av principskisser men måttsatta för att fungera i befintlig miljö och båda spåren modellerades upp i CATIA för att på ett smidigt sätt kunna visualiseras, för mer information om spår ett se bilaga B.

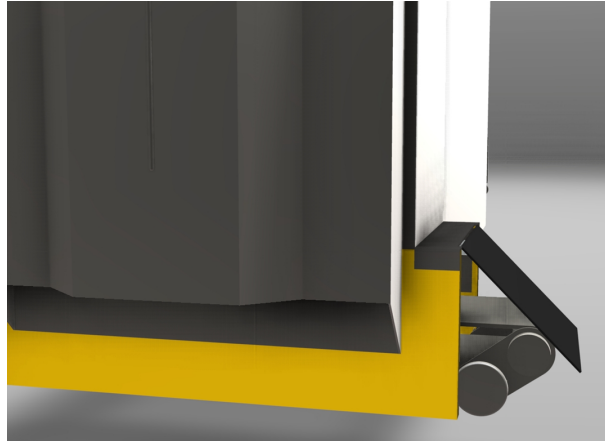


Figur 5: Lösningförslag med modifierade luckor.

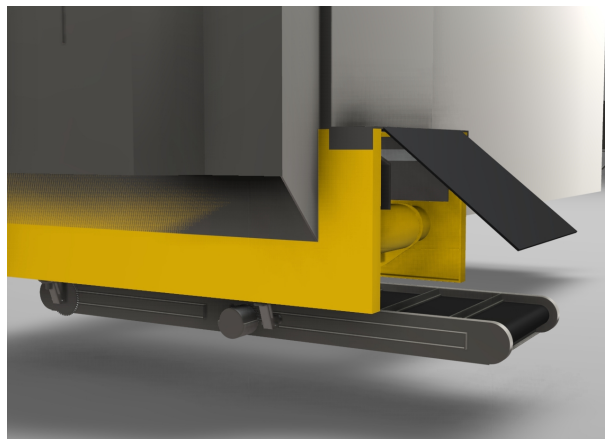


Figur 6: Lösningförslag med utskjutbar ramp.

För att kontrollera de lösningförslag som byggde på en glatt ramp gjordes ett enkelt experiment på Chalmers som försökte efterlikna befintlig miljö. Resultatet av experimentet tydde på att ramplösningarna fortsatt ej gick att utesluta, se bilaga E. Det transportband som eventuellt ska användas bör vara tätt för att släppa in så lite foder som möjligt i maskineriet. Bandet kan även ha en profil av något slag för att underlätta transporten av fodret. Transportbandet på den befintliga maskinen har exempelvis en “tandad” profil. Vanliga material för transportband är Polyvinylklorid, polyuretan, polyester och silikon (Habasit, 2012).



Figur 7: Lösningförslag med modifierat befintligt transportband.

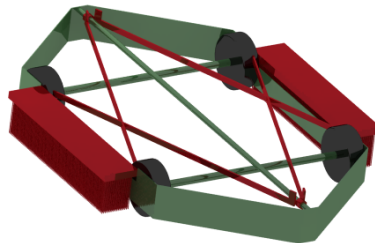


Figur 8: Lösningförslag med externt transportband.

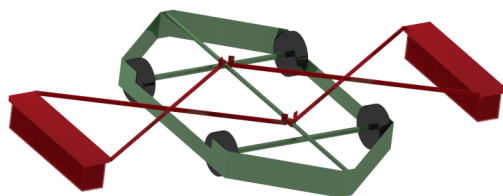
Uppdragsgivaren kontaktades för att kunna få synpunkter på de olika lösningsförslagen. Det framkom då att lösningarna med glatt ramp troligen ej skulle fungera i den befintliga miljön då det dels ansågs att vinkeln på rampen inte skulle kunna vara tillräcklig för fodret att glida ned för och dels att foder med tiden skulle fastna och således försämra rampernas glidegenskaper. Ett av kraven var att inte modifiera fodermaskinen på ett sätt som potentiellt sett skulle kunna skada den eller försämra dess funktion, vilket alla resterande förslag uppfyllde.

3.2.2 Spår två

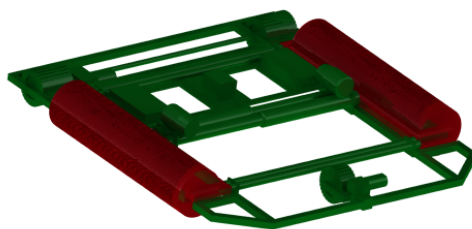
En självgående robot behöver både kunna förflytta fodret och navigera. Två alternativ för att förflytta fodret och fyra för navigeringen togs fram. Det ena alternativet för att förflytta fodret var att ha två saxande stänger vilka fästes i ena änden på ett borsthuvud och andra på en gängad axel, se figur 9 samt figur 10 för infällt läge respektive utfällt läge. Då denna axel roterar förs borsthuvudet ut och sopar ned fodret i foderrännan. Det andra alternativet är att roboten med hjälp av ställdon för ut borstarna till foderhögarna, se figur 11 och 12 för infällt läge respektive utfällt läge. För mer information om spår två se bilaga C.



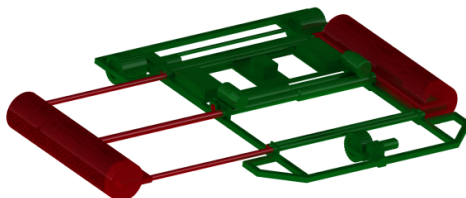
Figur 9: Robotalternativet med saxade stänger i infällt läge.



Figur 10: Robotalternativet med saxade stänger i utfällt läge.



Figur 11: Robotalternativet med ställdon i infällt läge.



Figur 12: Robotalternativet med ställdon i utfällt läge.

De fyra navigeringsalternativen består av en variant där roboten följer en räls som går längs foderbordet, en annan där roboten följer en induktiv skena som går längs foderbordet. En tredje variant är att roboten följer en slinga som går längs foderbordet samt en fjärde variant där roboten rör sig fritt utefter en förprogrammerad rutt och navigerar med hjälp av död räkning (Roston, 1991).

I rälsvarianten kommer robotens underrede vara anpassad för rälsens geometri för att den skall kunna följa rälsen så smidigt som möjligt. I rälsen kommer det vara hål som indikerar foderhögarnas placering. Roboten kommer känna av dessa hål och stannar då för att sedan starta sopprocessen. Efter utförd sopprocess fortsätter roboten förflyttningen längs rälsen och upprepar processen vid nästa hål. I fallet där roboten följer en induktiv skena guidas roboten med hjälp av omgivningssensorer och induktiva givare. Med en tunn plåt som fästs på foderbordet samt två sensorer på roboten kommer roboten känna av om den avviker till höger eller vänster. Genom att ha en geometri som skiljer sig på de platser där foderhögarna är placerade kommer roboten kunna starta sopprocessen vid foderhögarna. Ett alternativ till den induktiva skenan är att istället använda en elektrisk ledare som följer en slinga. Slingan kommer försänkas i foderbordet och samtidigt kommer en metallbit placeras vid de platser där högarna placeras. Roboten kommer följa slingan med hjälp av en antenn och med en sensor kommer den känna av metallbitarna och då stanna och starta sopprocessen för att fortsätta. Vid frigående navigering kommer roboten förflyttas utefter en förprogrammerad rutt. Roboten orienterar sig då med hjälp av död räkning.

3.3 Simulering

För att visualisera lösningarnas funktioner utfördes simuleringar i programmet Robot Studio. Programmet används egentligen främst till simuleringar av ABB:s industrirobotar men tillåter även användaren att bland annat animera CAD-modeller och på så sätt simulera och visualisera processer.

Utfodringsprocessen simulerades här med ett strikt flöde av logiska signaler då PLC-programmet inte gick att implementera i RobotStudio och resultatet blev därför en ren visualisering av hur processen ska gå till snarare än en simulering där fel direkt kan upptäckas. Detta är dock användbart för att tidigt bilda sig en god uppfattning om hur slutprodukten kommer att fungera

och förenkla att fel och brister uppdagas innan en fysisk prototyp börjar tillverkas.

3.4 Programmering PLC

För att kunna synkronisera lösningen till spår ett med den befintliga fodermaskinen används en PLC. Denna programmeras så att lösningen aktiveras och följer fodermaskinen under hela utfodringsprocessen.

Den PLC som användes var en Siemens Simatic S7-300. Siemens egna mjukvara, Simatic Step 7 Professional, användes för att skriva programmet och programmera PLC:n. Siemens Step 7 Professional klarar av flertalet programmeringsspråk men Ladder användes för att på bästa möjliga sätt realisera ett verkligt kopplingschema.

Programmet är uppbyggt för att lösningen skall kunna verka så frigående som möjligt från den befintliga fodermaskinen men stor fokus har även lagts på felsäkerhet då lösningen inte skall påverka fodermaskinens drift vid eventuella fel samt att den ska skydda sig själv och interiör i ladugården. För att veta vart och när de olika operationerna skall ske används de induktiva givare som redan existerar för den befintliga maskinen samt tre egna givare utplacerade enligt figur 19. Med hjälp av dessa givare vet transportbandet vart det är och på vilken sida utfodring skall ske. Programmet visualiseras i bilaga F. Programmet testades med hjälp av en panel bestående av tryckknappar och dioder. Dioderna fungerar som indikatorer på vilka motorer som körs, i vilken position ställdonet befinner sig i samt vart i ladugården fodermaskinen befinner sig. Knapparna verkar som de tre egna sensorer som skulle utplacerats i verklig miljö. För att se kontrollpanelens fullständiga funktioner, se figur 18.

3.5 Programmering mikroprocessor

För att styra soproboten så kommer en mikroprocessor att användas. Denna programmeras med programmeringsspråket C. Mikroprocessorn använder sig av tre IR-sensorer för att avgöra var kanterna på foderbordet samt fodermaskinen befinner sig. Mikroprocessorn styr även regleringen som krävs för att styrningen skall fungera. Programmet visualiseras i bilaga G.

3.6 Prototyp tillverkning

En prototyp byggdes i Chalmers Prototyplabb för att kunna testa att lösningen till spår ett fungerade på ett tillfredsställande sätt. Som grund till prototypbyggandet togs ritningar fram utifrån CAD-modellerna. Enklare delar tillverkades av gruppen. Mer komplexa delar så som skenor och kugghjul köptes in. Elmotor, ställdon och PLC lånades från Chalmers. En kontrollpanel till prototypen behövdes också byggas. Det bygget skedde i Chalmers PPU-labb⁷.

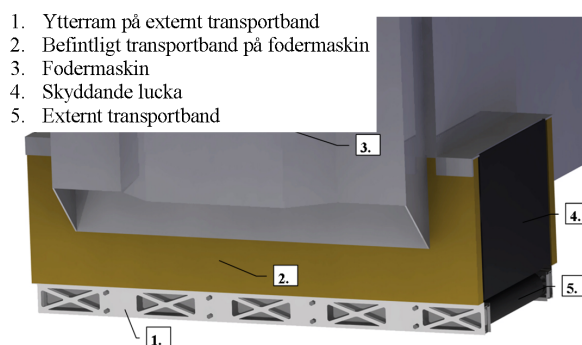
⁷Produkt- och Produktionsutveckling

4 Resultat

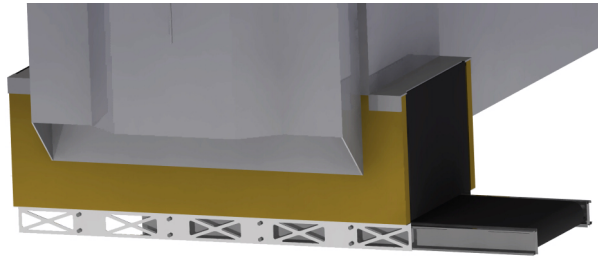
I det här avsnittet presenteras de resultat som projektet uppnådde samt en djupare beskrivning av de valda lösningarna och dessas ingående komponenter.

4.1 Spår ett

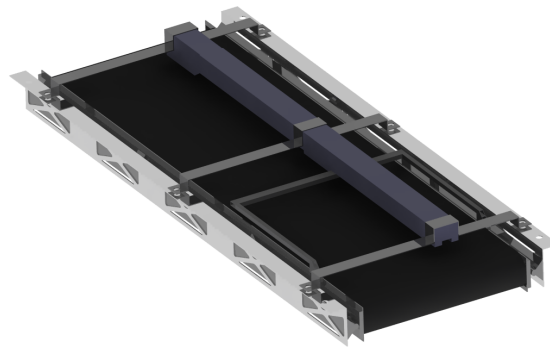
Efter att ha uteslutit de rampbaserade lösningarna återstod slutligen två lösningar, antingen att utveckla ett externt rullband eller att modifiera det befintliga. Då det ej var aktuellt att ändra i det befintliga rullbandet, eftersom det skulle påverka vardagsprocessen på anläggningen under en period då utfodringen hade behövts skötas manuellt, valdes lösningen med det externa rullbandet, se figur 13 och 14 för infällt läge respektive utfällt läge. Det var också angeläget att inte riskera att skada det befintliga systemet. Lösningen valdes dessutom med motivationen att den kan ersätta det befintliga transportbandet, den har låg komplexitet, den är robust och den är lätt att anpassa till andra miljöer. En mer detaljerad CAD-modell av denna lösning med ingående komponenter skapades för att gå vidare till simulering och så småningom prototyp tillverkning, se figur 15.



Figur 13: Externt transportband i infällt läge.



Figur 14: Externt transportband i utfällt läge.



Figur 15: Det externa transportbandet.

4.1.1 Externt transportband

Det externa transportbandet monteras under det befintliga, se figur 14. Det skjuts ut ca 40 cm och börjar rotera innan det nuvarande bandet börjar rotera. Detta medför att fodret faller ner i matrännan. Det extra bandet sitter fast på ett liknande sätt som det befintliga. Transport bandet snurrar med hjälp av drivande rullar (figur 16). För att minska risken för platsbrist under det befintliga bandet väljs band och delar så att det externa transportbandet ej sträcker sig mer än 10 cm under maskinen. De ingående delarna beskrivs nedan i detalj.

4.1.2 Transportband

Transportbandet skall utföra en uppgift som är mycket lik den som det befintliga transportbandet utför. Således valdes samma typ av transportband som det som redan finns i maskinen, se figur 16. Detta på grund av att det befintliga bandet är väl beprövat i miljön samt utför uppgiften på ett tillfredsställande sätt. Det band som sitter på anläggningens fodermaskin är levererad av FlexBelt A/S och är av märket Habasit.

4.1.3 Ramar

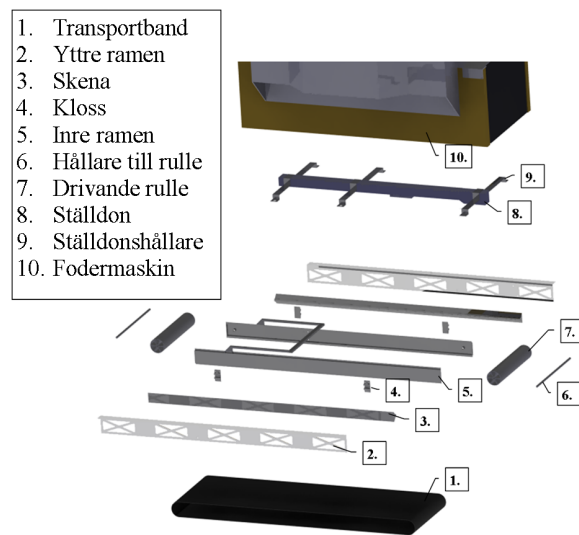
Den inre ramens uppgift är dels att hålla vissa komponenter, till exempel motorn, skydda dessa från externa faktorer så som smuts och väta samt att stabilisera transportbandet. Ramen (figur 16) monteras på sidorna av bandet för att kunna fästas till upphängningen. Motorn fästs i sin tur till ramen. För att öka stabiliteten kan sidorna monteras ihop. Yttre ramen (figur 16) hängs på maskinen och är kopplad till den inre ramen via skenorna.

4.1.4 Skenor

Upphängningen sker med hjälp av två skenor som antingen monteras fast på den inre eller yttre ramen, se figur 16. En skena placeras på vardera sida av transportbandet. Skenorna består av två komponenter, en kloss (figur 16) och ett rakt spår. Klossen sitter fast på spåret och kan röra sig linjärt med låg friktion i båda riktningarna. Om spåret monteras på yttre ramen så monteras klossen på den inre ramen och vice versa. Då den yttre ramen är fastmonterad på maskinen så kommer transportbandet att förflyttas linjärt tillsammans med klossarna. Som slutgiltig lösning valdes att montera skenorna på transportbandet.

4.1.5 Ställdon

För att förflytta bandet den horisontella sträckan 40 cm används ett ställdon, se figur 16. För att uppfylla kraven på hastighet och last (bilaga D) valdes ett ställdon som klarar förflyttningen från utfällt till infällt läge på tre sekunder. Ställdonet måste också klara av en last motsvarande transportbandets vikt. Ställdonet hålls uppe med hjälp av en ställdonsupphängning, se figur 16. Ställdonet skall ha en slaglängd på minst 80 cm där förflyttning skall kunna ske 40 cm åt båda hållen utifrån ursprungsläget. Detta är angeläget då utfodring sker på båda sidorna om fodermaskinen. Det ställdon som valdes var modell RCP3-SA5C från tillverkaren IAI⁸. I detta ställdon ingår de induktiva givare som behövs för att PLC-styrningen ska fungera.



Figur 16: Sprängskiss av det externa transportbandet.

⁸Intelligent Actuator, Inc.

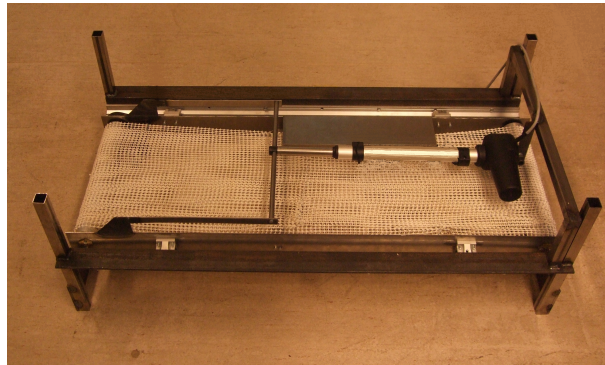
4.1.6 Strömförsörjning

Ström kan tas från de batterier som finns tillgängliga i fodermaskinen. Det är väsentligt att det finns tillräckligt med kapacitet för att driva lösningen. Om fodermaskinens batteri inte själv klarar av att försörja ytterligare komponenter måste ytterligare ett batteri ingå i lösningen. Det nya batteriet väljs med fördel till att vara kompatibelt med den laddningsstation som fodermaskinen använder. Mullerup, som levererat den ursprungliga fodermaskinen till anläggningen, rekommenderar ett batteri av gel-typ vilka är mindre temperaturkänsliga och mer flexibla vid montering (Battery-Web.com, 2012).

4.1.7 Prototypen

Ramdelarna och övriga enkla delar tillverkades av gruppen. Ben svetsades fast på den yttre ramen för att prototypens höjd över marken skulle vara enig med verkligheten. En PMDC-motor⁹ av märket Maxon användes för att driva rotationen av bandet. Motorns varvtal var för högt och nerväxling gjordes med två remkugghjul och en kuggrem. Nedväxlingen valdes till 4:1. Det lilla kugghjulet fästes i motoraxeln med lim samt en stoppskruv emedan det stora kugghjulet fästes på axeln till transportbandets drivande cylinder med enbart stoppskruv för att möjliggöra demontering. För att underlätta rotationen för transportbandets två cylindrar tillverkades bussningar av mässing som fungerade som länkar mellan cylinderaxlarna och den inre ramen. Den yttre och den inre ramen kopplades ihop med skenor och skenvagnar av modell TBR16 från Zapp Automation, detta möjliggjorde en relativt förlustfri och stabil horisontell förflyttning. En balk är fastskruvad mellan den yttre ramens två sidor. På denna balk är ställdonet fäst. Ställdonets axel är sedan fäst på en länk som i sin tur är fäst i innerramen. Prototypens ställdon är av märket SKF. Detta ställdon är dock inte tillräckligt snabbt för att produkten ska kunna användas i anläggningen.

⁹Permanent Magnet Direct Current, Permanentmagnetiserad likströmsmotor



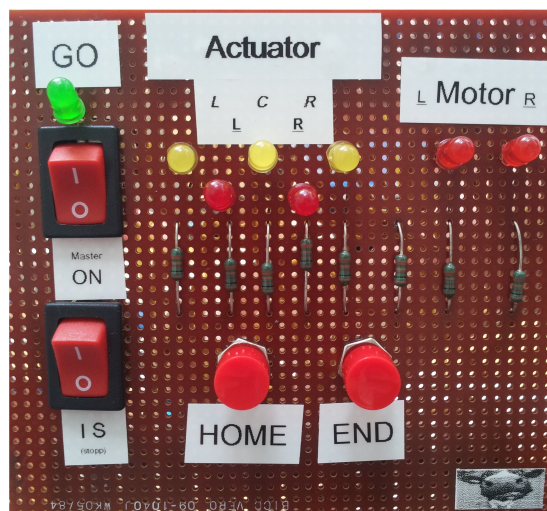
Figur 17: Den färdigställda prototypen.

4.1.8 Kontrollpanel

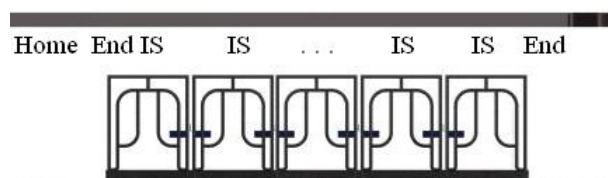
I figur 18 kan man se den kontrollpanel som byggdes för att verka som indikator och givare för den konstruerade transportbandsprototypen.

“Master ON” knappen fungerar som en huvudströmbrytare. Den är tänkt att vara inkopplad till befintliga fodermaskinens nödstopp och stanna motor och ställdon omedelbart. Den gröna “GO” lampan indikerar att transportbandet startat sin färd från laddningsstationen samt att “Master ON” inte är bruten. Om inte “GO” är aktiv kommer ingen kod i programmet att köras. “Actuator” visar ställdonets status där de röda lamporna indikerar ifall det körs åt höger eller vänster och de gula vilken position det befinner sig i (left, center, right). Här utnyttjas ställdonets tillhörande lägesgivare. “Motor”-lamporna indikerar när motorn till transportbandet roterar bandet åt höger eller vänster sida. “Home” verkar som en sensor där den ger en signal när maskinen nått laddningsstationen. “END” verkar som två stycken sensorer som indikerar att man nått de två ändarna på foderbordets huvudlänga. “IS” verkar som den sensor fodermaskinen använder sig av för att veta vart de olika utfodringsstoppen är placerade.

I figur 19 kan man se en profilbild av ladugårdens interiör där de sensorer som används för att navigera är utplacerade, detta ger en tydligare förklaring till den kontrollpanel som byggdes för att simulera de olika sensorerna.



Figur 18: Kontrollpanel.



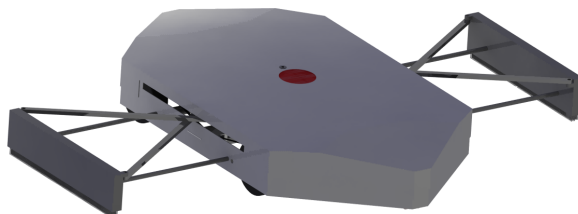
Figur 19: Placering av sensorer i ladugården.

“Home” är den sensor som är utplacerad vid laddningsstationen för att veta när fodermaskinen är i startposition. Vid eventuellt strömavbrott under färd så kommer transportbandet inte att ges några körinstruktioner före fodermaskinen är klar och påbörjar en ny utfodringsrunda, detta för att minska risken för eventuella fel då programmet initieras på nytt när strömmen återställs. De två “END”-sensorerna indikerar start och stopp på foderbordets huvudlänga, detta för att veta vilken sida som utfodring skall ske på samt när maskinen når sinko-delen, som i figur 19 ligger till höger om bilden.

“IS”-sensorerna är de sensorer som är utplacerade vid varje utfodringsplats, inklusive de vid sinko-delen, och fungerar som indikatorer på när maskinen stannar för att lämna av foder. Dessa sensorer hjälper det externa transportbandet att orientera sig så att utfodring alltid sker i rätt tid och på rätt plats.

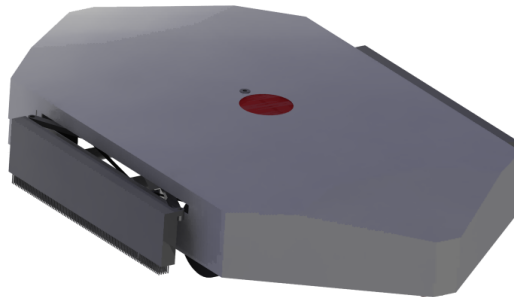
4.2 Spår två, Soprobot med saxande stänger

I spår två valdes frigående navigering samt räls på foderbord bort, då en enklare och billigare lösning på robot önskades och att en räls dels skulle medföra svårigheter vid rengöring av foderbordet och dels skulle ta plats. Frigående navigering ansågs ha ett för komplicerat system då roboten endast behöver röra sig längs en linje. Dessutom ansågs det svårt att få en korrekt placering av roboten då död räkning inte alltid ger en korrekt position. En robot med saxande stänger som följer en elektrisk slinga valdes eftersom denna kombination resulterade i en relativt simpel lösning som löste problemen på ett tillfredsställande sätt, se figur 20 och figur 21 för utfällt läge respektive infällt läge. Borsten kommer att vara utbytbar då slitage kommer uppstå efter upprepade borstningar. Programmeringens och systemets komplexitet blev inte lika hög som den hade blivit med frigående navigering.



Figur 20: Soprobot med saxande stänger i utfällt läge.

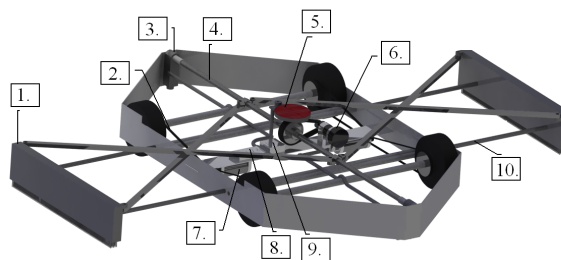
Robotens förflyttning möjliggörs av två elmotorer, en på vardera sida, som driver de högra respektive vänstra hjulen, se figur 22. Hjulen kopplas till motorerna med kedjor, se figur 22. När de två motorerna roterar åt olika håll svänger roboten. Den låga tyngdpunkten talar emot att någonting skulle kunna rubba roboten så hårt att den åker ner i foderbordsrännorna. Så länge roboten inte lämnar foderbordet kommer den hitta tillbaka till slingan. Om roboten mot förmodan skulle åka ned i foderrännan är det möjligt att ta upp roboten med handkraft.



Figur 21: Soprobot med saxande stänger i infällt läge.

Sopstängerna skall klara av att trycka med en kraft av 70 N enligt utfört test, se bilaga H. För att borsthuvudet skall hållas stabilt är roboten försedd med teleskoparmar som är monterade mellan robotkroppen och borsthuvudena. Dessa skyddar även borstarna från att påverkas av stötar. En lampa monteras även på överdelen av roboten som indikerar om roboten är aktiv eller ej, se figur 22.

- | | |
|-----------------|-------------------------------|
| 1. Sopborste | 6. El-motor till gängad stång |
| 2. Kedja | 7. El-motor till hjul |
| 3. Kantsensor | 8. Batteri |
| 4. Gängad stång | 9. Mikroprocessor |
| 5. Lampa | 10. Teleskopstång |



Figur 22: De ingående delarna i soproboten.

Med en IR-sensor känner roboten av om den befinner sig under fodermaskinen. Roboten känner av när fodermaskinen passerat och påbörjar då borstningsprocessen. På grund av fodermaskinens längd kommer roboten arbeta på ett avstånd av cirka två foderhögar efter fodermaskinen. Då maskinen är vid änden på foderbordet och fortsätter till sinko-delen kommer roboten förflytta de två återstående högarna för att sedan invänta att fodermaskinen återvänder och börjar arbeta på den andra sidan av foderbordet. I det läget kommer processen upprepas, det vill säga roboten inväntar att fodermaskinen passerat och börjar därefter borstningsprocessen på samma avstånd som tidigare.

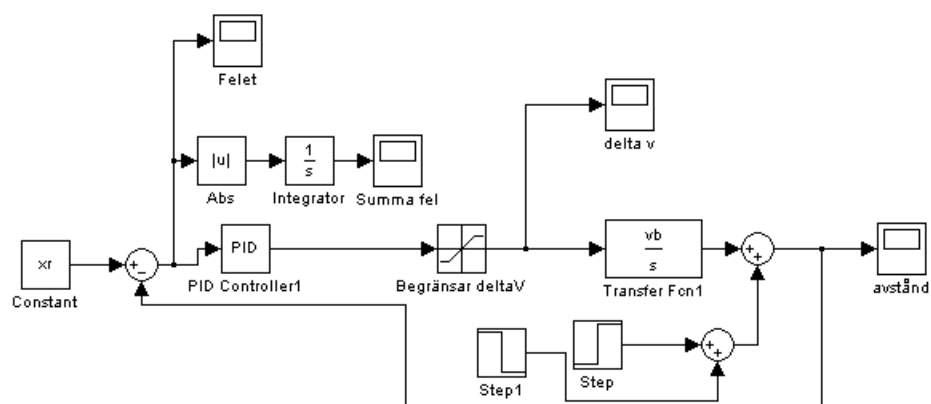
Den elektriska slingan kommer försänkas i foderbordet så att inga delar sticker upp ur foderbordet. Metallbitar kommer att försänkas, samtidigt som slingan, vid de platser där foderhögarna skall placeras. Roboten kommer med hjälp av en antenn följa slingan genom att försöka hålla så stark signalstyrka som möjligt. Med hjälp av en induktiv sändare kommer avlämningsplatserna lokaliseras och där kommer borstningsprocessen startas. Slingan har en relativt enkel installation och dess dragning är flexibel.

Roboten regleras till att följa slingan. Regleringen fungerar genom att avståndet från roboten till slingan mäts och styrs sedermera med hjälp av skillnader i hastighet mellan vänster- och högerhjulen. Den regulator som används är av typen PID¹⁰. Överföringsfunktionen mellan dessa skillnader och avståndet togs fram till att vara:

$$G_{\Delta v,x}(s) = \frac{V_b}{s^2 L} \quad (4)$$

För fullständiga beräkningar, se bilaga H.

¹⁰Proportional-Integral-Derivative



Figur 23: Blockschema från Simulink.

5 Diskussion

Det grundläggande problemet med anläggningen är att ladugården är gammal medan tekniken som används är ny. Foderbordet är bredare än vad fodermaskinen är byggd för, därav felplaceringen utav fodret. Den bästa lösningen skulle vara att bygga en ny ladugård som är utformad efter den teknik som skall användas däri, detta är dock lättare sagt än gjort av uppenbara skäl. Även fast fodret skulle hamna rätt finns andra delproblem. Under förtäringen bökar boskapet runt i foderblandningen för att finna favoritfödan. Det här leder till att foderhögarna sprids ut och rester hamnar utanför foderrännan. Ett annat problem är att när boskapet ätit färdigt finns det fortfarande foderrester kvar i rännan som måste sopas undan manuellt. Spår ett löser inte de här delproblemen överhuvudtaget. Roboten i spår två kan dock eventuellt tänkas sopa ned fodret som hamnat utanför rännan samtidigt som den går igenom sin vanliga runda.

5.1 Spår ett

Om tid och resurser hade funnits till att bygga en fullt fungerande prototyp utifrån de prestandakrav som målades upp och sedan testa den, så hade fördelaktligen det befintliga bandet ersatts av ett rörligt. Den lösningen skulle vara både material- och utrymmeseffektiv i jämförelse med att ha ett extern transportband och dessutom skulle den förmodligen bli mer estetiskt tilltalande. Om det befintliga bandet ersattes med ett rörligt skulle det bästa tillvägagångssättet vara att integrera styrningen för bandet och maskinen på ett liknande sätt som finns i dagsläget. Därmed skulle den enda skillnaden bli att transportbandet förs ut innan det startas och fodret faller ned från behållarna. Här kan definitivt fördelar vägas emot nackdelar. De kritiska punkterna vid införandet av det nya systemet ansågs vara:

- Hur snabbt det gamla systemet kan bytas ut mot det nya.
- Hur robust det nya systemet är.
- Hur lätt ett eventuellt systemfel kan åtgärdas.

Tanken med det externa transportbandet är att det fungerar oberoende av fodermaskinens nuvarande system. Således skulle det bara vara att skruva på det nya bandet och de sensorer som krävs vilket skulle innebära en förhållandevis kort ställtid. Att modifiera det befintliga bandet skulle med all sannolikhet ta betydligt längre tid än så. Det finns i själva verket två alternativ för att "modifiera" bandet.

Det första skulle vara att, istället för att modifiera, helt enkelt ersätta det befintliga bandet med en förkonstruerad anordning. Det befintliga bandet borttages först och den förkonstruerade anordningen skruvas på tillsammans med sensorer. Även denna lösning skulle kunna fungera oberoende av fodermaskinens inbyggda system. Det är dock oklart vad som skulle ske med styrningen när det gamla bandet kopplas ifrån fodermaskinen. Det andra alternativet är att modifiera det befintliga bandet. Ett ställdon och skenor skulle behövas för att möjliggöra den horisontella rörelsen på bandet. Ställdonet skulle behöva integreras i den befintliga styrningen, något som kräver kunskap om maskinens programvara. Mullerup hade inte möjligheten, eller viljan, att dela med sig av någon programkod då programvaran i deras fodermaskiner kommer från en tredje part. Båda dessa alternativ bedömdes mer komplicerade och tidskrävande än att skruva på ett externt band vilket var en bidragande faktor till att lösningen med det externa transportbandet valdes.

Det externa bandet är mer känsligt mot yttre påverkan än det interna på grund av att det hänger nedanför maskinen. Det är då lättare hänt att boskapet kommer åt och vållar det skada. Om maskinen skulle lossna från sitt spår i taket, vilket tidigare inträffat, skulle det externa transportbandet ta en betydligt större skada än det interna.

Fördelen med ett externt transportband är att det lätt och snabbt kan skruvas bort i det fall att det ej skulle fungera på ett godtagbart sätt. Problem skulle dock kunna uppstå om det befintliga bandet modifierades och lösningen skulle fungera undermåligt. Då önskemålet var att inte riskera anläggningens funktionalitet föreföll det externa transportbandet vara en bättre lösning även på denna punkt. Skulle däremot tester kunnat ske på en prototyp och haveri skäligen kunnat uteslutas hade den här punkten inte varit kritisk.

Så på två av de tre kritiska punkterna listade ovan tycktes det externa transportbandet vara den lämpligaste lösningen med utgångspunkt från de tids- och materialresurser som förelåg under arbetet. Utöver dessa punkter spelade också prototypbygget en roll. Det ansågs vara lättast att bygga en prototyp som kunde fungera oberoende av fodermaskinen då simulering och demonstration skulle bli enklare att genomföra.

5.1.1 Transportband

Som lösning valdes ett transportband med samma längd som det befintliga bandet, ungefär 110 cm. Alternativt kan bandet vara betydligt kortare än vad fodermaskinen är bred och skulle då behöva förflyttas en större sträcka när maskinen vänder. Fördelen skulle här vara att konstruktionen blir lättare. Lösningen skulle dock inte, till skillnad från det förstnämnda alternativet, kunna ersätta det befintliga bandet då det skulle bli för kort. Det ställer också högra krav på ställdonets slaglängd, slaglängden behöver öka lika mycket som transportbandet förkortas.

Istället för att använda en vanlig DC-motor skulle en trummotor, vilka är vanligt förekommande i kommersiella transportband, kunna användas. En sådan skulle spara plats men vara betydligt dyrare.

5.1.2 Sidledsförflyttning av transportband

Istället för att ett ställdon sköter sidoförflyttningen av transportbandet skulle en rad andra alternativ också fungera.

Pneumatik är tåligt och skulle klara miljön bra. Problemet är att tryckluft inte finns att tillgå och det skulle kräva att en kompressor används. Den skulle antingen ha fästs på fodermaskinen eller vid fodermaskinens laddningsstation. Om kompressorn fästs vid laddningsstationen är en tryckluftsbehållare vid det externa transportbandet då nödvändigt för att lagra tryckenergin. Elmotor med tillhörande växel, exempelvis en kuggstång tillsammans med ett kugghjul, är en billig och enkel lösning. Svårigheten är att skapa en tillfredsställande hastighet. Sensorer skulle behövas för att kontrollera att förflyttningen är genomförd. Andra lösningar som elektriska linjära ställdon har den typen av sensorer inbyggda.

Fokuset på samtliga av de lösningar som analyserats ligger på överföring av roterande rörelse till linjära. En fördel med linjära ställdon framför en pneumatisk lösning är att de är mer energisnåla. Den huvudsakliga anledningen till att ett linjärt ställdon valdes var framförallt att de är enkla. Allt som

allt köps ett komplett ställdon med sensorer in och fästs på det externa rullbandet. Det kräver enbart, till skillnad från pneumatik, strömtillförsel.

5.1.3 Prototypbygget

Den genomgående röda tråden under prototypbygget var att se till att delarna inte överskred projektets budget. Ett stort problem som gruppen hade för den valda lösningen var transportbandet. Att köpa ett transportband var uteslutet då de är för dyra. Inga transportband fanns att låna in så gruppen var tvungen att bygga ett. Det enklaste och kanske bästa sättet att bygga ett transportband är att använda sig av en trummotor men även de är för dyra för projektet. Istället var gruppen tvungna att låna en mindre elmotor och därför också skala ned storleken och prestandan på transportbandet. Varvtalet för elmotorn var okänd och ingen information fanns att hitta vilket ledde till vissa problem när en utväxling skulle väljas. Beräkningar gjordes utifrån ett rimligt varvtalsvärde och utväxlingen valdes därefter. Det ställdon som valts var likaledes det för dyrt för att kunna inhandlas. Liksom elmotorn lånades ett ställdon ut av Chalmers och även detta presterade långt ifrån vad som hade krävts i den verkliga anläggningen. De här kompromisserna ansågs vara acceptabla eftersom endast en demoversion skulle byggas. En fullt presterande prototyp hade naturligtvis behövt ett bra transportband och tillräckligt snabba ställdon.

Både den inre ramen och den yttre ramen kunde konstrueras utav material från prototypplabbet. Den yttre ramen byggdes med ben som stöd att stå på men hade det externa transportbandet implementerats i den verkliga miljön på anläggningen så hade självfallet inga ben behövts. Den inre ramen blev något instabil. Vid tillverkning av en verklig produkt hade kanterna på skenorna bockats för att öka stabiliteten. Bockningen hade då också skapat ett skydd för klossarna. Skenorna som beställdes från Storbritannien blev försenade vilket fördröjde bygget något. På prototypen monterades sedan skenorna på ytterramen istället för på transportbandet av praktiska skäl då monteringen blev enklare. Anledningen till att ha dem på transportbandet var att skydda klossarna från boskapet men eftersom prototypen inte skulle testas i någon sådan miljö prioriterades enkelheten.

Kontrollpanelen som konstruerades blev liten och behändig. Visningen av prototypen är lätt att kontrollera och styrningen kan programmeras för att användas i anläggningen. De inprogrammerade säkerhetsaspekterna kan enkelt demonstreras.

5.2 Spår två

Någonting som tydligt framgick under projektets gång var uppdragsgivarens vilja att ha en lösning som liknar en städrobot. En sådan lösning är komplex och skulle behöva en betydligt större budget än vad projektet hade tillgång till. Lösningen i spår två utformades för att på ett bra sätt försöka implementera en städrobot i ladugårdsmiljön på anläggningen. Den valda lösningen, en soprobot med saxande stänger som följer en slinga på foderbordet, ansågs vara lagom avancerad för att lösa problemet. En mer avancerad lösning som exempelvis en förprogrammerad robot med ställdon skulle lösa problemet men ha ett onödigt komplicerat system. Ställdonen i sig skulle ej vara onödigt komplicerade och skulle dessutom eliminera behovet av teleskoparmar för stabilitet men ställdonen tar mycket plats och är förhållandevis dyra. De andra navigeringsvarianterna, metallskena och räls valdes bort på grund av att de skulle medföra svårigheter med renhållningen på foderbordet eftersom de skulle ligga öppna och oskyddade.

Styrningen av hjulen på roboten drivs av två par kedjor, detta valdes på grund av enkelheten men om annan styrning föredras kan styrningen bytas ut. En negativ aspekt med lösningen är att roboten måste tas upp med handkraft om den skulle åka ned i foderrännan. Skulle roboten konstrueras så att den kan ta sig upp på egen hand hade risken för att den blivit för hög ökat. Detta leder till att det är än mer angeläget att roboten inte avviker för mycket från slingan. Ett förhållandevis snabbt reglersystem är därför att önska. Sannolikheten för att roboten skall åka ned i foderrännan anses dessutom mycket låg på grund av dess stabila utformning. En annan negativ del är att formen på lösningens konstruktion kommer bli lång, ungefär 1200 mm och därför lite otymplig. Skulle ställdon användas hade robotkroppen kunnat förkortas men den hade istället behövt vara bredare. Det skulle vara opassande med tanke på var fodermaskinen placerar ut högarna. Därför prioriterades en smalare robot.

Om ett hjul skulle slira eller om smuts skulle öka diametern på hjulet kommer osäkerheter med död räkning medföra att robotens uppfattade position inte kommer stämma överens med den verkliga. Vid änden av foderbordet kommer det finnas en ramp så att roboten kan förflyttas till en laddningsstation som är placerad utanför foderbordet.

6 Slutsatser

I det allmänna fallet kan det sägas att en städrobot skulle lösa problemet och samtidigt ha möjlighet att utföra andra uppgifter i ladugården som till exempel städning av foderbordet. En sådan lösning skulle vara anpassningsbar till de flesta anläggningar. För att enbart lösa problemet på den specifika anläggningen är dock ett externt transportband fullt dugligt samt betydligt mer simpelt och driftsäkert. Då stor variation mellan anläggningar kan förekomma borde kompatibilitet vara en viktig aspekt för fodermaskinstillverkare. En tillvalsmöjlighet skulle kunna finnas där det interna transportbandet kan förflyttas i sidled likt det som tidigare beskrivits i rapporten. Således anses lösningen för spår ett ligga i fodermaskinstillverkarnas intresse. Det framgick, som tidigare nämnts, att uppdragsgivarens önskan var en lösning liknande en städrobot. De som finns på marknaden är komplexa och kostsamma. Roboten i spår två har därför i första hand konstruerats med priset i ständig åtanke. I och med valet utav navigerings- och foderförflyttningsätt anses en relativt låg kostnad ha möjliggjorts.

Referenser

- [1] *AGV Electronics* (2012) Inductive Guidance.
http://www.agve.se/page/by_desc/inductive-guidance (2012-04-27).
- [2] Borg, H. och Olsson, C. (2004) Jordbrukets industrialisering. *Regionmuseet*.
http://www.regionmuseet.se/acrobatfiler/jordbrukets_industrialisering_web.pdf
(2012-03-14).
- [3] *Dassault Systems* (2012)
<http://www.3ds.com/products/catia/welcome/> (2012-02-29).
- [4] *ELFA AB* (2007)
https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/webroot/Z_STATIC/sv/pdf/fakta.pdf
(2012-03-21).
- [5] *Faro* (2012)
<http://www.faro.com/content.aspx?ct=uk&content=pro&item=5&subitem=49>
(2012-03-22).
- [6] *Habasit* (2012)
<http://www.habasit.com/en/cvb-materials.htm> (2012-05-08).
- [7] *Intelligent actuator* (2012)
http://www.intelligentactuator.com/pdf/02_RC_General_CJ0159-2A.P1-128_Slider.pdf (2012-05-15).
- [8] Nilsson, A. (2006) Ta hand om Dina sinkor!!!!. *Jordskog*.
http://www.jordskog.se/epaper/js_2006-03-24/pdfs/article_25_7.pdf
(2012-05-14)
- [9] Roston, G. och Krotkov, E. (1991) Dead Reckoning. *DTIC Online*.
<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA245717> (2012-05-08).
- [10] Schmidt, R. (2012) Automatic Inductive Guidance System for Forklifts uses CANopen. *STW Technic*.
<http://www.stw-technic.com/wp-content/uploads/2010/01/CANopen.pdf>
(2012-05-10).
- [11] *Skolarbete.nu* (2012)
<http://skolarbete.nu/skolarbeten/dataminnen/> (2012-05-16).

- [12] *Electro Cam* (2012)
<http://www.electrocam.com/pdf/tech/SCANTIME.PDF> (2012-05-16).
- [13] *Battery-Web.com* (2012)
<http://www.batteryweb.com/gel-batteries.cfm> (2012-05-16).

A Kravspecifikation

Chalmers	Kandidatarbete	Kravspecifikation	Sid 1		
		Design och vidareutveckling av helautomatiserad utfodring	Simulering, programmering och konstruktion	Onskemål (Ö) har skala 1-5, 5 är viktigt, 1 mindre viktigt	
		Skapad: 2012-01-31		Krav (K)	
		Modifierad: 2012-05-09			
Kriterier		Målvärde	K/O	Vikt	Verifieringsmetod
1.	Funktionalitet				Referens
	1.1	Förflytta foder till rätt plats	K		Roger Jerrhagen
	1.2	Anpassad till befintlig miljö	K		Roger Jerrhagen
	1.3	Klara en hel utfodringscykel utan extern energitillförsel	K	2	
	1.4	Lätt att handhava	O		
	1.5	Förflyttning av foder	K		Datansamling
	1.6	Helautomatiserad	O	4	Tester
	1.7	God precision	O	5	
2.	Lagar och Regler				
	2.1	Anpassad till befintliga regler	K		Länsstyrelsen
3.	Ekonomi				
	3.1	Minimera kostnad	O	2	
4.	Miljö				
	4.1	Anpassad till inomhus -och utomhusmiljö	K		Roger Jerrhagen
	4.2	God energitvåtningsgrad	O	3	
5.	Säkerhet				
	5.1	Säker för användaren	K		
6.	Hållbarhet				
	6.1	Samma livslängd som befintlig fodermaskin	O	4	
	6.2	Driftsäker	K		
	6.3	Lätt att underhålla	O	4	

Figur 24: Kravspecifikation.

B Lösningsförslag spår ett

Nedfällbara luckor

En tänkbar lösning är att de befintliga luckorna modifieras alternativt ersätts så att de kan fungera som förlängning av bandet. Till exempel skulle luckorna kunna fällas nedåt istället för uppåt som de gör i dagsläget och på så sätt bilda en ramp som gör att fodret hamnar längre ut.

Fördel

- Enkel lösning utan komplicerade delar.

Nackdel

- Vid sin-delen av ladugården skulle de nya luckorna kollidera med båsen.

Utskjutningsbar ramp

Lösningen går ut på att påmonterade ramper av stål eller dylikt material kan traversera längs en skena under fodermaskinen. Exempelvis kan detta göras med hjälp av mekanik, hydraulik eller pneumatik. Den enklaste lösningen kan tänkas vara att de två ramperna, som är monterade motsatt varandra och i motsatt riktning, åker längs samma skena så att endast en elmotor krävs och den enbart behöver byta riktning. Rampen är fritt ledad till skenan och när rampen når sitt ändläge faller den alltså ned och tar stöd mot marken.

Fördel

- Enkel lösning utan komplicerade komponenter.

Nackdelar

- Arbetar i en smutsig miljö vilket ökar risken för att smuts kommer in i skenan vilket kommer försvåra rampens rörelse.
- Om lutningsvinkeln blir för liten på rampen kan det finnas risk till att maten ej glider ner.

Extra transportband

Denna lösning har ett extra band under det befintliga bandet. Tanken är att det extra bandet skall föras ut och börja rotera samtidigt som det nuvarande bandet börjar rotera. Detta för att minska risken för fodret att komma på fel plats. Bandet kommer föras ut cirka 40 cm och då faller fodret ned i matrännan. Det extra bandet sitter fast på ett liknande sätt som det befintliga.

Fördelar

- Konstruktionen är relativt enkel, förflyttning sker endast i horisontellt led vilket medför att det ej behövs några ledade stänger.
- Lösningen liknar det befintliga bandet och lösningen kan då eventuellt byta ut den befintliga lösningen vid goda resultat.

Nackdelar

- Finns risk för platsbrist under fodermaskinen då det skall finnas plats till både transportband och en drivande motor.
- Att det är många rörliga delar kan vara ett problem.

Modifiering av det befintliga transportbandet

Denna lösning går ut på att det går att använda det befintliga bandet. Tanken är att man skall frigöra bandet från den låsta position som den har idag och göra den rörlig i sidled och på så sätt möjliggöra den förflyttning av transportbandet som är nödvändig. Det går till som så att när maskinen stannat och maten vägts för att sedan ramla ned på bandet så görs följande: En elmotor förflyttar hela bandet som det är byggt idag ut till den ena eller andra sidan. Först när bandet har åkt så långt ut som är nödvändigt så börjar det att rotera så att maten landar på rätt plats. Den bästa lösningen här skulle vara att den nya konstruktionen kan kommunicera med Mullerups befintliga hård- och mjukvara.

Fördelar

- Behöver ej använda många nya delar utan kan återanvända mycket material.
- Risken för platsbrist låg då man ej behöver använda annat utrymme än bandet gör idag.

Nackdelar

- Kan bli svårt att ändra i det befintliga bandet så att den horisontella rörelsen möjliggörs.
- Svårt att synkronisera med fodermaskinen då det är svårt att få tillgång till dess mjuk- och hårdvara.

C Lösningsförslag spår två

Nedan presenteras två alternativ på en soprobot.

Soprobot med ställdon

Alternativ ett består av en soprobot som kommer trycka ut två borstar i sidled med hjälp av två elektriska ställdon som åker ut till vardera sida. Borstarna kommer flytta fodret ned i foderrännan. Borstarna kommer att vara utbytbara då slitage kommer uppstå efter upprepade sopningar. På grund av ställdonen kommer alternativet bli dyrare och mer komplext än alternativ två men själva roboten blir mindre. För att bredden på roboten ej skall bli bredare än själva foderbordet och kunna köra mellan foderhögarna kommer det behövas två ställdon som kan flytta foderhögarna åt respektive håll.

Med en IR-sensor känner roboten av om den befinner sig under fodermaskinen. När fodermaskinen passerat känner roboten av att maskinen passerat och påbörjar då borstningsprocessen. På grund av fodermaskinens längd kommer roboten att arbeta cirka två foderhögar efter fodermaskinen. Då maskinen är i ändläget på foderbordet och fortsätter till sin delen kommer roboten sopa de två återstående högarna för att sedan invänta att fodermaskinen skall återvänta och börja utfordra den andra sidan av foderbordet. I det läget kommer processen upprepas, roboten inväntar att maskinen passerat och börjar därefter sopprocessen.

Fördelar

- Storleken på roboten blir mindre än alternativet soprobot med saxande stänger.
- Förflyttningen av foder på de olika sidorna sker oberoende av varandra.

Nackdelar

- Dyr på grund av dyra komponenter.
- Komplex.

Soprobot med saxande stänger

Alternativ två består av en mekanisk lösning där två saxande stänger i kors sitter dels fast på en borste men även inne i maskinen på en ledad stång. Borstarna kommer att vara utbytbara då slitage kommer uppstå efter upprepade borstningar. När stängen börjar rotera med hjälp av en elmotor så kommer stängerna att föras in mot mitten av robotkroppen vilket medför att borstarna flyttas ut åt sidorna. Att kunna förflytta fodret hela vägen ut medför att stängerna behöver vara långa. Detta medför att roboten behöver vara längre än alternativet med ställdon då stängerna skall få plats i infällt läge.

Med en IR-sensor känner roboten av om den befinner sig under fodermaskinen. När fodermaskinen passerat roboten känner den av detta och påbörjar då borstningsprocessen. På grund av fodermaskinens längd kommer roboten arbeta cirka två foderhögar bakom fodermaskinen. Då maskinen är i ändläget på foderbordet och fortsätter till sin-delen kommer roboten sopa de två återstående högarna för att sedan invänta att fodermaskinen skall återvända. I det läget kommer processen upprepas; roboten inväntar att maskinen passerat och påbörjar därefter ånyo borstningsprocessen.

Fördelar

- Billig.
- Enklare komponenter än alternativet med ställdon.

Nackdelar

- Storleken på roboten blir större än alternativet med ställdon.
- Förflyttningen av foder på de olika sidorna sker beroende av varandra.

Navigering

Nedan beskrivs tre alternativ för hur navigering kan skötas av soproboten. Alla förslagen är oberoende applicerbara på de två lösningsförslagen ovan.

Räls

Roboten följer en fast räls (cirka två cm bred) som går längs foderbordet och stannar vid varje foderhög där borstningsprocessen startar. Underredet på roboten är anpassat till rälsens geometri. På rälsen så kommer det att borrar hål igenom sidan och med hjälp av sensorer känner roboten av dessa hål som indikerar foderhögarnas plats. Roboten kommer att vara löstagbar

så att man enkelt kan ta av den från rälserna om så önskas. Det kommer att finnas två roterande borstar placerade i en v-form på robotens framsida för att undanröja smuts och gammalt foder från rälserna. Detta medför att rälserna kommer rengöras under färden.

Fördelar

- Kan ej avvika från rälserna vilket medför att den blir driftsäker.
- Enkel förflyttning, relativt enkel implementering.

Nackdelar

- En försänkning i foderbordet krävs vid installation av rälserna.
- Rälserna på foderbordet kan vara i vägen.
- Rälserna måste hållas ren och roboten kräver därför extra borstar.

Induktiv skena

Roboten kommer guidas med hjälp av avståndssensorer och induktiva givare. En tunn plåtskena (några centimeter bred) fästs på foderbordet. Därefter placeras två stycken sensorer på roboten, en på vardera sida om metallskenan, som kan avgöra om roboten avviker till vänster eller höger. Sensorerna fungerar som metalldetektorer. En installation av en plåtskena är nödvändigt men remsan skall inte vara i vägen för övrig aktivitet i ladugården. Längs skenan kommer metallbitar läggas eller skäras ut för att få en avvikande geometri. Avståndssensorerna på roboten känner av dessa avvikelser och påbörjar då borstningsprocessen. Plåtskenan kan även lätt förlängas vilket skulle underlätta vid eventuell utbyggnad av ladugården.

Fördel

- Enkel implementering.

Nackdelar

- Skena på foderbordet kan vara i vägen.
- Eventuellt mer ostabil än en rälsgående robot.

Slinga med frekvens

Ett alternativ till metallskena är att istället använda en elektrisk ledare som följer en slinga. Slingan kommer försänkas i foderbordet så att inga delar sticker upp ur foderbordet. En metallbit kommer dessutom att försänkas samtidigt som slingan vid de platser där foderhögarna skall placeras. Roboten kommer med hjälp av två antenner följa slingan genom att försöka hålla så stark signalstyrka som möjligt. Med hjälp av en induktiv givare kommer foderplatserna lokaliseras och där kommer borstningsprocessen startas. Slingan har en enklare installation om man jämför med rälsen och slingans dragning har en hög variationsmöjlighet.

Fördelar

- Relativt enkel implementering.
- När väl slingan är på plats påverkar den inte utformningen av foderbordet.

Nackdelar

- En försänkning och därefter fyllning krävs för installation av slingan.
- Eventuellt mindre stabil än en rälsgående robot.

Död räkning

Roboten rör sig fritt på foderbordet utefter en förprogrammerad rutt. Varianten kräver så kallad död räkning. I praktiken innebär det att problem kan uppstå ifall att ett hjul slirar eller det ansamlas smuts på hjulen så deras diametrar ökar. Den teoretiska rutten stämmer då inte överens med den verkliga rutten, då robotens beräkningar blir fel. Variationen är dock sannolikt så liten att ingen större avvikelse sker.

Fördel

- Det behövs inget extra material som kan vara i vägen på foderbordet.

Nackdelar

- Eventuellt mindre stabil än en rälsgående robot.
- Kan uppstå fel i robotens navigeringsberäkningar.

D Beräkningar på den vertikala kraften på rullbandet

Beräkningar för att verifiera att valt ställdon uppfyller kraven.

Maximal tryckkraft:

$$F_{max} = 95N \quad (5)$$

Maximal acceleration (IAI, 2012):

$$a_{max} = 0,7g \quad (6)$$

Vikt på transportbandet som skall förflyttas enligt CAD-modell:

$$m = 9kg \quad (7)$$

Maximal tid för förflyttning: $t = 3$ s, enligt bilaga H. Tillåten acceleration enligt 5 och 7

$$a_{tillåten} = \frac{95}{9} = 10,6m/s \quad (8)$$

Tillåten acceleration, $\min(6, 8)$:

$$a_{mintillåten} = 0,7g \quad (9)$$

Transportbandet ska accelereras med konstant acceleration i 1,5 s och sedan retarderas med samma konstant. Friktionen i skenorna försummas. Transportbandet skall förflyttas: $s = 0,4$ m.

Maximal hastighet enligt:

$$s = \frac{(v_{max} \frac{t}{2})}{2} 2 = \frac{v_{max} t}{2} \quad (10)$$

Det ger:

$$v_{max} = \frac{2s}{t} = \frac{2 * 0,4}{3} = 0,27 m/s \quad (11)$$

acceleration:

$$a = \frac{v_{max}}{\frac{t}{2}} = \frac{0,27}{1,5} = 0,18 m/s^2 \quad (12)$$

$$F = am = 0,27 * 9 = 2,43 N \quad (13)$$

Hastigheten, kraft och acceleration är inom tillåtna gränser enligt ställdonets specifikationer. Det finns även utrymme att med valt ställdon förflytta en större massa

Kraft-, moment- och varvtalsberäkningar på elmotor spår 2

Motorn antas operera med ett konstant varvtal även om motståndet kommer variera. Beräkningar utförs på den undre av ledstängerna. Ledstängerna mellan axeln och sopphuvudet är 901 mm långa och avståndet mellan sopborsten och axeln i startläget är 270 mm enligt ritningar.

x_0 = Avståndet mellan axel och borste i infällt läge.

x_1 = Avståndet mellan axel och borste i utfällt läge.

y_0 = Positionen för nedre stångens infästning i axeln i y-led. Infällt läge.

y_1 = Positionen för nedre stångens infästning i axeln i y-led. utfällt läge.

t = 40 s. Tillåten tid för att utföra operationen.

L = 901 mm. Ledstängernas längd.

Enligt Pytagoras sats är den okända kateten $K_0 = 859,6$ mm, avstånd i y-led mellan nedre stångens infästningar. När sopphuvudet är utfällt läge är sopphuvudet i samma position i y-led. Ledstångens position i y-led vid axeln är $K_0 - K_1 = 859,6 - 602,4 = 257,2$ mm.

För att sopphuvudet ska förflyttas till utfällt läge och tillbaks på 40 s krävs en hastighet längst axeln på:

$$v = \frac{257,2}{\frac{t}{2}} = 12,86 \text{ mm/s} \quad (14)$$

Följande ekvationer beskriver triangeln som ledstången bildar.

$$x(t) = \sqrt{L^2 - y(t)^2} \quad (15)$$

$$\dot{x}(t) = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{L^2 - y(t)^2}} (-2)y(t)\dot{y}(t) \quad (16)$$

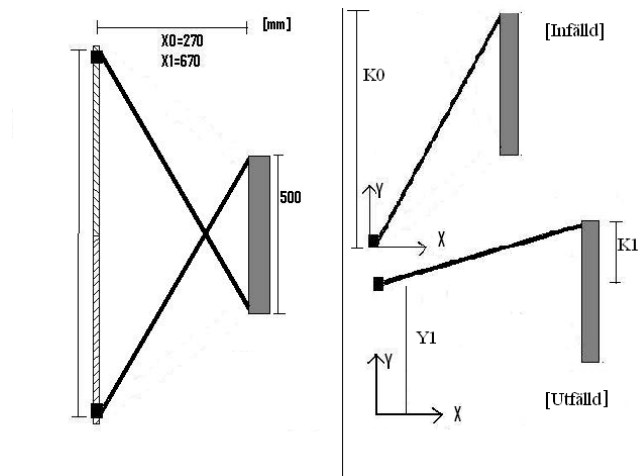
Kraften från fodret som verkar på soppb borsten antas vara konstant 7 g som är maximal kraftbehov, se bilaga I. Soppb borsten hastighet, som är lika med $\dot{y}(t)$, är enligt ekvation 16 maximal när $t = 0$ ty hastigheten i y-led är konstant. Ekvation 16 ger:

$$\dot{x}_{max}(t) = \dot{x}(0) = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{901^2 - 859,6^2}} (-2)859,6(-11,86) = 40,95 \text{ mm/s}. \quad (17)$$

Effekten $P = F \cdot v$ är således som störst vid $t = 0$.

$$P_{max} = mgv_{max} = 7 \cdot 9,82 \cdot 0,04095 = 2,81 \text{ W} \quad (18)$$

Effekten är för att flytta sopborsten och i överföringen från drivande motor till sopen, den ledade stängen, finns det förluster. Uppskattningsvis är energieffektiviteten 50 %, effektkravet på motorn är 5,62 W. Utifrån tillgängliga standarder som finns för ledade stänger skall motor och växellåda anpassas för att ge tillfredsställande rotationshastighet.



Figur 25: Koppling mellan den ledande stängen och elmotorn i infällt läge samt nedre stång i ut- och infällt läge.

E Experiment med ramp

För att testa realiserbarheten av en ramp som slutlösning gjordes ett experiment den 31 januari 2012. Experimentet var ett simpelt test för att se om fodret skulle glida på en ramp med den vinkel som ladugården och den befintliga automatiska fodermaskinen tillät.

Material

Rampen bestod av en stålplåt med bredden 150 mm, längden 800 mm och tjockleken 3 mm. Plåten hämtades på experimentverkstaden. Materialet skattades ha sämre glidförmåga än den slutgiltiga lösningen kommer få.

Fodret var, i brist på ensilage som är det huvudsakliga fodret som ges på anläggningen, torrt gräs motsvarande hö som plockats utomhus. Höet blötlagdes sedan i 30 minuter för att få liknande egenskaper som ensilage (ensilage är blandat med olika delar vatten beroende på förvaring och rådande väderlek).

Utförande

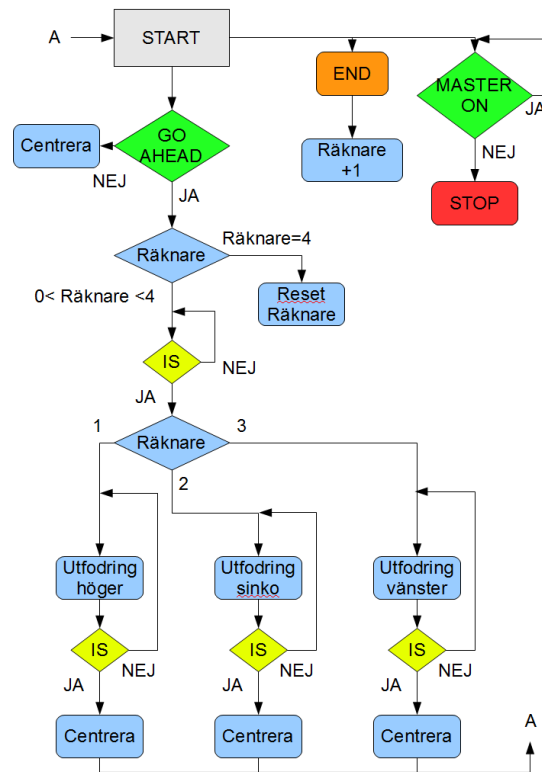
Ur den CAD-modell som tagits fram mättes det upp att det behövdes en skena som skulle få en vinkel på minst 40 grader från fodermaskinen. Skenan placerades på en pall som mätte 300 mm från golvet, skenans ändpunkt placerades 360 mm från pallen. När cirka en liter hö placerades på skenan i pallhöjd gled det ned till golvet utan problem. För att veta vilka värden som fanns att jobba med ökades avståndet från pallen till golvet där skenan började. När avståndet var 460 mm gled fortfarande höet och det var först vid 500 mm som höet behövde falla från cirka en decimeter över pallen för att glida ända ned till golvet.

Resultat

Resultatet kan ej betraktas som slutgiltigt då det är flera faktorer som bör undersökas noggrannare. Det viktigaste är antagligen typen av foder som användes i experimentet och antagandet att blötast foder glider sämst. För att få ett tillförlitligt resultat behövs foder som används på anläggningen där produkten skall användas. Olika test av material på skenan och hur materialets glid förändras med tiden bör göras för att optimera processen. Mätdata som användes behöver också kontrolleras om de går att realisera på en verklig produkt.

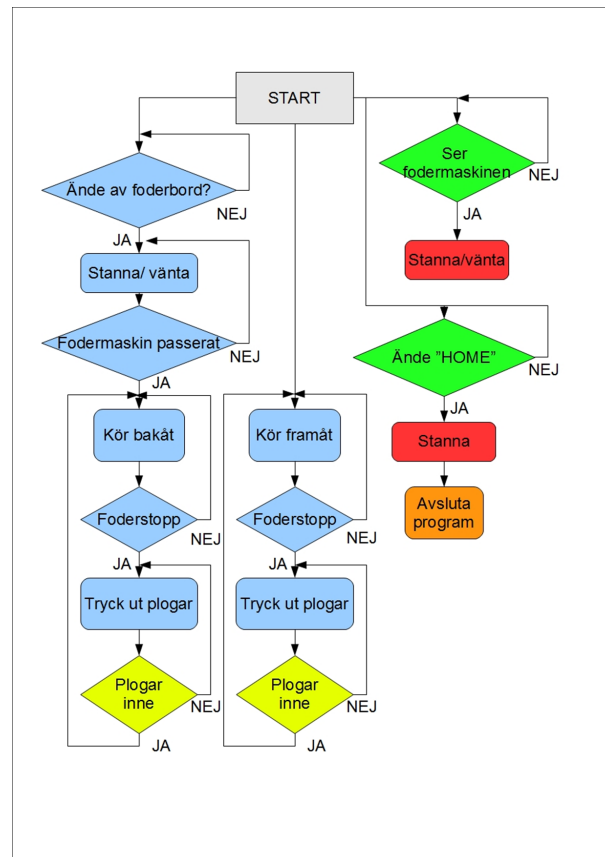
Ur det här experimentet blev resultatet att vinkeln behöver vara minst 33 grader mot fodermaskinen. Resultatet gör att kandidatgruppen går vidare med de förslag som innefattar en glidskena.

F Flödesschema transportband



Figur 26: Flödesschema transportband.

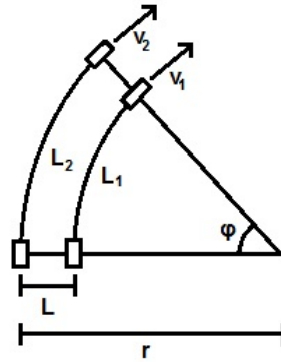
G Flödesschema soprobot



Figur 27: Flödesschema soprobot.

H Reglering

För att hitta överföringsfunktionen från hastighetsskillnaden mellan det vänstra och högra hjulen till avståndet från roboten till slingan användes ekvationerna nedan. Utifrån figur 28 fås de ekvationer som krävs för att hitta överföringsfunktionen från skillnaden i hastighet mellan vänster- och högerhjulen till avståndet från slingan.



Figur 28: Regleringen.

$$\varphi r = v_2 t \quad (19)$$

$$\varphi(r - L) = v_1 t \quad (20)$$

$$\varphi = (v_2 - v_1)t \quad (21)$$

$$r = \frac{v_2 L}{v_2 - v_1} \quad (22)$$

$$\varphi\left(r - \frac{L}{2}\right) = v_b t \quad (23)$$

$$v_b = \frac{v_2 + v_1}{2} \quad (24)$$

$$\Delta v = v_2 - v_1 \quad (25)$$

Antas små vinklar kan följande ekvationer fås:

$$\dot{x} = v_b \sin \varphi \approx v_b \varphi \quad (26)$$

$$\ddot{x} = v_b \delta v \cos \varphi \approx v_b \Delta v \quad (27)$$

På tillståndsform blir det:

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$\dot{\bar{x}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \bar{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{v_b}{L} \end{bmatrix} \Delta v \quad (29)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \bar{x} \quad (30)$$

Med hjälp av uppställningen på tillståndform erhålls matriserna A, B och C som i sin tur ger den sökta överföringsfunktionen:

$$G_{\Delta v, x}(s) = C(sI - A)^{-1}B \quad (31)$$

$$G_{\Delta v, x}(s) = \frac{v_b}{s^2 L} \quad (32)$$

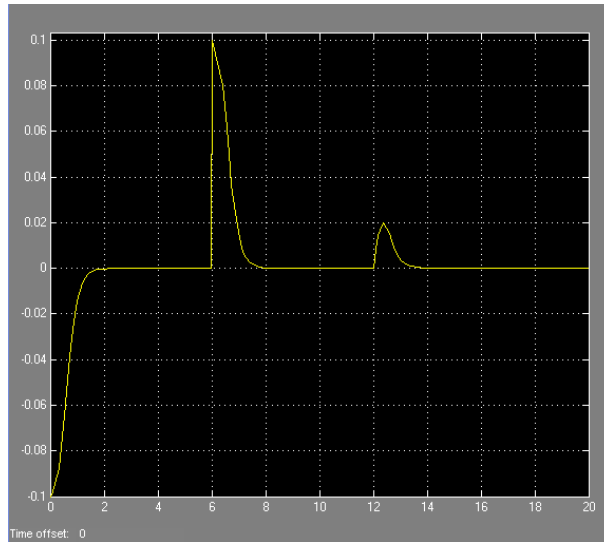
Systemet simulerades i programmet Simulink, enligt figur 23. Efter PID-regulatorn ligger ett min-max-block som begränsar styrsignalen Δv mellan -0,5 och 0,5. Det innebär att hjulen aldrig kommer rotera åt olika håll då $v_b = 0,5$ m/s. Simuleringen körs under 20 sekunder och systemet utsätts för tre störningar under tiden. Vid $t = 0$ s appliceras ett stegsvar på -0,1 m för att simulera att roboten är felpositionerad vid start. Vid $t = 6$ s appliceras ett stegsvar på 0,1 m för att simulera att roboten kommit ur position. Vid $t = 12$ s appliceras en rampformad störning som stiger med 0,1 m/s för att simulera ett bestående fel. Under simuleringen mäts avståndet mellan robot och ledare, styrsignalen v och summan av absolutbeloppet av felet. Avståndet mellan roboten och ledaren är samma som systemets fel och utsignal. Se figur 29 till 32 för resultatet.

Insvängningen av avståndet anses ske tillfredsställande snabbt utan översvängning. Störningar regleras även de väl. Styrsignalen anses stabil, se figur 31. Regulatorvärden togs fram genom iterering och valda värden är:

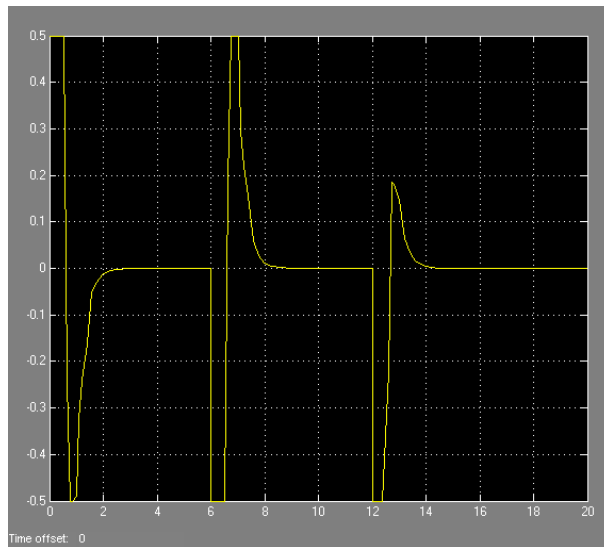
$$\begin{aligned}K_p &= 32 \\K_i &= 0,04 \\K_d &= 13,2\end{aligned}$$

PID-regleringens form enligt:

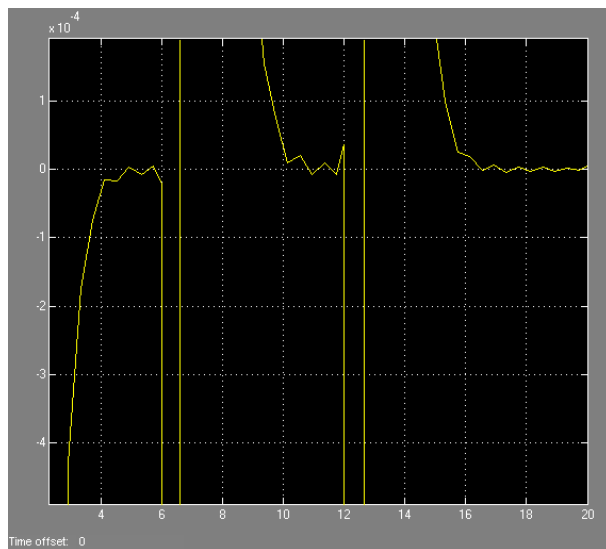
$$F = Kp + \frac{Ki}{s} + sKd \quad (33)$$



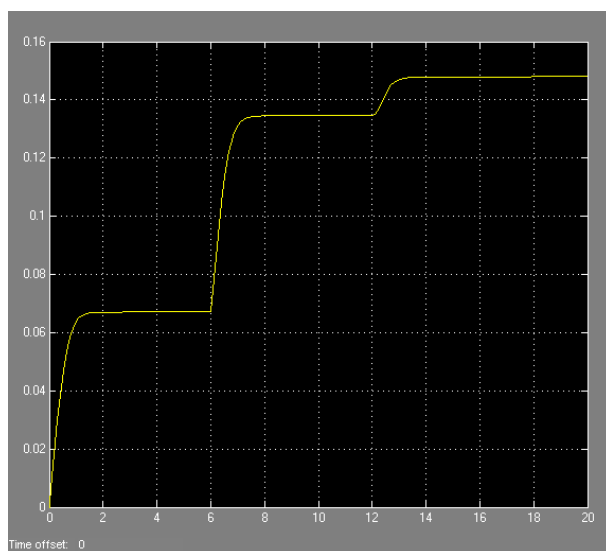
Figur 29: Avstånd mellan slinga och robotens mittpunkt.



Figur 30: Styrsignal δv .



Figur 31: Styrsignal inzoomad.



Figur 32: Summa fel.

I Mätningar och datainsamling från studiebesök

Varje ko äter 17 kg torrsubstans, Ts, under ett dygn. Den verkliga vikten är tre gånger så stor som torrsubstansvikten, vilket medför att en ko äter 51 kg blötsubstans varje dag. Kossorna blir matade sex gånger per dag, detta resulterar i att vid varje utfodringstillfälle väger fodret 8,5 kg. Avståndet från underkanten på fodermaskinen och foderbordet varierar mellan 100 mm (på sinko-delen) och 270 mm (på huvudlängan) beroende på i vilken del av ladugården maskinen är. Mellan kossornas stallplatser är avståndet 1100 mm och 1200 mm. Avståndet mellan högarna är 400 mm och avståndet mellan upplagd hög och rännkant är 450 mm.

För att förflytta en foderhög krävs det en maxkraft på 7 kg. Höjd mellan rälsens underkant och golv är 2105 mm. Foderrännans djup är 80 mm. Foderrännans bredd är 500 mm. Bredd mellan rännorna är 1510 mm.

Utmatningsprocessen för fodermaskinen varierar mellan 39-44 sekunder. Då tas det hänsyn till att maskinen stannar, mäter upp maten, lägger upp maten på foderbordet samt förflyttning.

Fodermaskinens mått:

- Den totala bredden: 1300 mm.
- Höjden: 1245 mm.
- Den totala längden: 3160 mm.