

**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

AUTOMATISK STYRNING AV RADHACKA

AUTOMATIC GUIDANCE OF A ROW-WEEDER

Peter Wilhelmsson

Institutionen för lantbruksteknik

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering**

**Rapport 147
Report
Uppsala 1990**

**ISSN 0283-0086
ISBN 91-576-4375-X**

FÖRORD

Detta arbete skall ses som ett första steg i sökandet efter alternativa metoder för ogräsbekämpning.

Medel till arbetet har ställts till förfogande av Lantbruksstyrelsen.

Arbetet har, vad avser den inledande litteraturstudien samt avsnittet om simuleringsförsök, utförts som ett examensarbete i enlighet med fordringarna för Agronomexamen vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Resterande delar är en fortsättning på detta examensarbete, i texten är dock de olika delarna integrerade.

Jag vill här tacka de personer som på olika sätt bidragit till denna rapport.

Tack till

Professor Thomas Nybrant, som varit min handledare. Thomas är ansvarig för att kapitlet om regulatorberäkning finns med, och har också speciellt granskat detsamma. Thomas var också med under alla försök med maskinen och har tagit alla bilder som finns med i rapporten. För alla dessa saker är jag honom stort tack skyldig.

Forskningsingenjör Staffan Klensmeden, som byggde den regulator som användes vid försöken.

Alla andra ej nämnda, som med eller utan vetskap hjälpt mig med detta arbete.

Ultuna i mars 1990

Peter Wilhelmsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	2
SAMMANFATTNING	5
SUMMARY	7
INLEDNING	9
LITTERATURSTUDIE	10
Mekanisk styrning	10
<u>Funktionsbeskrivning</u>	10
<u>Praktiska försök</u>	12
<u>Resultat</u>	13
Bildbehandling	14
<u>Bakgrund</u>	14
<u>Hur fungerar systemet?</u>	14
<u>Analys av styrfel</u>	16
<u>Systembegränsningar</u>	17
<u>Praktiska försök</u>	17
Kabelstyrning	17
<u>Allmänt</u>	17
<u>Funktionsprincip</u>	18
<u>Styrsystemets uppbyggnad</u>	18
<u>Praktiska försök</u>	19
<u>Analys av erhållna försöksresultat</u>	23
Automatisk styrning med hjälp av ultraljud	23
<u>Inledning</u>	23
<u>Systemets funktion</u>	24
<u>Testprocedur</u>	26
<u>Resultat</u>	26
Tröghetsnavigering	26
<u>De mätande enheterna</u>	27
<u>Hur fungerar systemet på ett fordon?</u>	27
<u>Framtidsutsikter för tröghetsnavigering</u>	28
Laserstyrning	28
UTVÄRDERING AV OLIKA METODER FÖR AUTOMATISK STYRNING ..	29
Slutsatser	32
SIMULERINGS- OCH REGULATORMODELL	34
Allmänt	34
Regulatorberäkning	36
Simuleringsmodell	40
<u>Allmänt</u>	40
<u>Fordonets rörelse</u>	41

<u>Givarmodell</u>	41
<u>Beskrivning av sårad</u>	42
<u>Regulatormodell</u>	42
<u>Validering</u>	42
Simuleringsresultat	43
Slutsatser från simuleringarna	53
FRAMTAGANDET AV FÖRSÖKSMASKIN	53
Försöksmaskin	53
Regulator	54
Avkännare	57
PRAKTISKA FÖRSÖK	60
Allmänt	60
Prov på asfalt	60
Prov i gröda	64
<u>Resultat</u>	65
Slutsatser från de praktiska försöken	67
DISKUSSION	68
LITTERATURFÖRTECKNING	69
BILAGA 1: Bilder av försöksmaskinen, de två givarna samt allmänna bilder tagna under de praktiska proven.	
BILAGA 2: Simuleringsprogram	
BILAGA 3: Regulatorprogram	

SAMMANFATTNING

Syftet med projektet var att försöka finna en metod att automatiskt styra en radrensare i stråsäd. Detta för att öka precisionen på radrensningen samt minska belastningen på den som skall utföra arbetet. Rapporten behandlar enbart problemen i samband med den automatiska styrningen och hur de rader maskinen skall följa kan detekteras.

För att undersöka om lämpliga metoder för radrensning fanns framtagna genomfördes en litteratursökning. Sökningen genomfördes som en databassökning på in- och utländska databaser inom det lantbruksvetenskapliga området från Ultunabiblioteket. Resultatet från denna sökning presenteras i en inledande litteraturstudie. Litteraturstudien visar att lämpliga metoder ej fanns tillgängliga med avseende på precision i arbetsresultat, arbetsmiljökrav eller kostnad.

I sökandet efter lämpliga metoder att styra en radrensare dök tanken upp på att låta ett fordon styra denna. Radrensaren skulle monteras fast i fordonet som sedan skulle styras automatiskt efter raderna. För att prova denna ide byggdes en simuleringsmodell upp utifrån det tänkta angreppssättet: fordon med ett fast monterat redskap. I modellen kunde sedan olika placeringar av avkännare för radens läge och redskapet provas tillsammans med olika regulatorer. På detta sätt var det enkelt att få fram en optimal placering av redskap och givare samt lämplig regulator. En antydning om vilken precision som var möjlig att uppnå gavs också.

Resultaten från simuleringarna visade att det borde vara möjligt att styra en radrensare enligt det tänkta angreppssättet vid hastigheter upp till de provade 8 km/h. Nästa fas i projektet var att finna en lämplig försöksmaskin och utrusta den med nödvändig styrutrustning för att prova ideerna i praktiken. Försöksmaskinen förseddes med en elektrisk motor som ställdon för styrningen och en mikroprocessorbaserad regulator. Som avkännare för de rader som skall följas konstruerades två prototyper. Båda dessa är konstruerade för att gå mellan två rader och mekaniskt avkänna fordonets position i förhållande till raderna.

När försöksmaskinen var färdig utfördes två olika typer av prov. Först utsattes maskinen för olika typer av störningar för att studera insvängningsförlopp vid olika inställningar av regulatorn samt placering av givare. Efter att denna provning fullbordats provades maskinen i vårsått korn för att utröna praktiskt uppnåeliga precisionsnivåer. Eftersom försöken utfördes i slutet av juni var förutsättningarna för mekanisk avkänning av raderna goda eftersom grödan nått relativt långt i sin utveckling. På grund av den sena tidpunkten var dock antalet kraftiga roto-gräs stort. Detta medförde att givaren påverkades relativt kraftigt. Försöken visar dock att trots detta påverkades inte regleringen i nämnvärd omfattning.

De resultat som erhöles vid körning rakt fram i grödan var att maskinen vid en hasighet av 2 km/h som mest avvek 2.7 cm från sitt rätta läge mellan raderna. Den standardavvikelse som beräknats för detta prov är ca 1 cm. Prov i gröda utfördes inte vid högre hastigheter än ca 2 km/h eftersom ställdonet då begränsade systemets prestanda.

De slutsatser som dras är att: systemet fordon med fast monterad radrensare går att styra med tillräcklig precision samt att mer arbete måste läggas ner på den del som skall avkänna fordonets position i förhållande till raderna. Förslag till förbättringar av den nu använda givaren ges också.

I diskussionen ger författaren förslag till hur det fortsatta arbetet skulle kunna läggas upp.

SUMMARY

AUTOMATIC GUIDANCE OF A ROW-WEEDER

The aim of the project was to find a method for automatic positioning a row-weeder in cereal crops. This would increase the precision of the weeding and lower the demands on the driver, compared to a manually guided row-weeder. The report deals only with the problems connected to the automatic control-system and to the question of how to detect the rows to be followed.

With the aid of the Swedish and foreign agricultural data-bases of the Ultuna library, a search for literature, dealing with the problem of automatic positioning of a row-weeder was made. The literature found was used in a study which is summarized in the report. The result of the study shows that no adequate method exist with regard to precision, demands on working environment and cost.

While searching for a suitable method a new idea occurred; To mount the row-weeder firmly to a vehicle and to guide the whole vehicle automatically along the rows. Instead of only positioning the implement. To test this idea a model was derived. With the model different positions of a transducer and of the implement could be tested together with different regulators. Thus the system with the highest possible precision could be found.

The result of the simulation tests showed that it ought to be possible to guide a row-weeder, mounted on a vehicle, up to a speed of 8 km/h. An experimental machine was equipped in order to test the results of the simulation in practice. The experimental machine was equipped with an electrical motor, for the controlling of the steering, and a microprocessor-based regulator. Two prototype transducers were designed and tested. Both were ment to run between two rows and to mechanically detect the position of the vehicle in relation to the rows.

Two types of experiments were carried out. Firstly, the machine was tested on a course where planks (5*10 cm) served as substitutes for cereal rows. The machine was exposed to different kinds of disturbances so that the responses could be studied, while using different regulators and different positions of the transducer. Secondly the machine was tested in spring barley so that the practically achievable levels of precision could be found. When the tests were done (at the end of June) the crop was high enough to permit good possibilities for mechanical detection. There were though, many perennial weeds that influenced the transducer negatively. This did not effect the good performance of the control system, however.

The result of the tests in spring barley showed that the machine, at a speed of 2 km/h, had a maximum deviation of 2.7

cm. The standard deviation was 1 cm. No tests could be done at higher speeds as the actuator set a limit to the performance of the system.

The conclusions drawn in this paper are: A system consisting of an implement firmly attached to a vehicle, can be automatically guided accurately enough, and that more work must be put into improving the transducers. Some proposals for improvements of the transducers are made.

In the discussion part of the paper the author gives an account of how the project can be followed up in the future.

INLEDNING

Syftet med det arbete som presenteras i föreliggande rapport är att: finna en metod för styrning av mekaniska radrensare sådan att mekanisk ogräsbekämpning i stråsäd kan ses som ett alternativ/komplement till kemisk ogräsbekämpning.

För att uppnå detta syfte måste radrensaren kunna arbeta nära raden. Det arbete den utför måste vara effektivt och arbetsinsatsen för att uppnå detta resultat rimlig i förhållande till andra metoder. Dessa förutsättningar är inte uppfyllda med de metoder som finns tillgängliga idag.

Rapporten behandlar enbart problemet att styra radrensaren med tillräcklig precision mellan raderna, samt hur de rader som då skall följas kan detekteras. Ambitionen är att kunna styra radrensaren med en noggrannhet på bättre än 2.5 cm.

Problemet som skall lösas får ses mot bakgrund av det ökade intresset för alternativ odling och de intentioner som statsmakterna har, att begränsa användandet av kemiska ogräsbekämpningsmedel.

Arbetet började med att olika metoder för mekanisk radrensning studerades, vilket resulterade i att tre huvudmetoder kunde urskiljas med avseende på det styrsätt som används:

- styrning av radrensaren efter spår som dragits upp av såmaskinen
- medåkande som styr radrensaren i sidled
- automatisk styrning av radrensaren i sidled

Av dessa metoder är enbart automatisk styrning av radrensaren i sidled realistisk, med tanke på precisionskravet och den arbetsinsats som krävs.

Metoden medför dock att radrensaren måste förses med någon anordning för styrning i sidled, vilket gör systemet dyrt. Förarens arbetsbelastning blir också, trots att han/hon enbart behöver "grovstyra", relativt hög.

Ett alternativ i detta sammanhang var möjligheten att använda fordonet, som radrensaren kopplas till, som ställdon. Det vill säga montera radrensaren fast infäst i fordonet, som sedan styrs automatiskt via någon anordning som avkänner radens läge i förhållande till radrensaren. Detta angreppssätt skulle, jämfört med styrning av radrensaren i sidled, medföra fördelar som:

- styrutrustningen finns redan och om en modern lantbrukstraktor väljs kan den relativt enkelt konverteras till automatisk styrning tack vare styrsystemets hydrauliska uppbyggnad

- föraren skulle i högre utsträckning avlastas från det koncentrationskrävande arbetet att följa raderna då systemet skulle bli självstyrande.

För att utvärdera iden om styrning av radrensare med hjälp av ett fordon var möjlig med avseende på den noggrannhet som kan uppnås, byggdes en simuleringsmodell av ett tänkt system. Parallellt med detta arbete påbörjades en litteratursökning vars syfte var att finna metoder för automatisk styrning av fordon i lantbruket, samt hur de rader som skall följas kan detekteras. För denna sökning anlätades Ultunabiblioteket med dess möjligheter att nå in- och utländska databaser inom det lantbruksvetenskapliga området. Resultatet av litteratursökningen presenteras först i denna rapport.

Därefter redovisas uppbyggnaden av simuleringsmodellen samt beräkningen av den regulator som krävs för att effektivt styra fordonet med fast monterad radrensare. Redovisningen fortsätter med att uppbyggnaden av en försöksmaskin samt praktiska prov med densamma presenteras. Rapporten avslutas med en kort diskussion kring de resultat som erhållits samt förslag till vad det fortsatta arbetet bör bestå av.

LITTERATURSTUDIE

I litteraturstudien redogörs för representativa metoder att automatiskt styra en traktor samt hur den kurs som då skall följas kan detekteras.

Mekanisk styrning

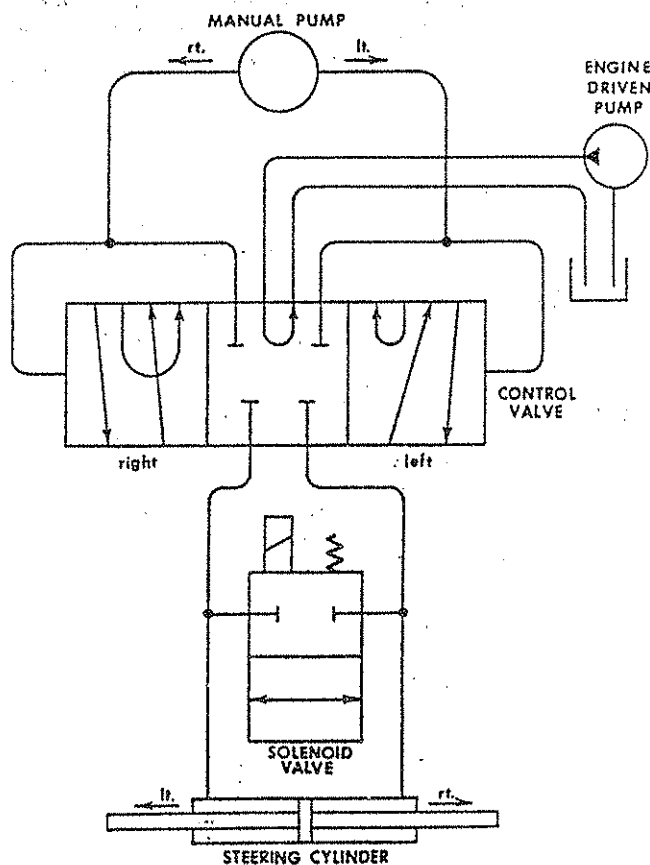
Försök med automatisk styrning av en traktor med hjälp av en styrarm, som följer ett i förväg uppgjort spår, har utförts av Pool et al (1985). Styrarmen, som är tre meter lång, är monterad framför traktorn och kopplad till styrningen. På styrarmen sitter två sfäriska skivor som följer spåret, och på detta sätt styr traktorn.

Funktionsbeskrivning

Hydraulsystemet. - Det hydrostatiska styrsystemet på en modern traktor använder sig av en pump som drivs via ratten. Denna pump aktiverar ventiler som tillåter en motordriven pump att förse den dubbelverkande styrkolven med olja.

För att använda ett helt mekaniskt styrsystem måste det hydrauliska styrsystemet inaktiveras. Av den anledningen utrustades traktorn i försöket med en solenoid- påverkad on-off ventil. Denna ventil tillåter oljan att strömma fritt mellan styrkolvens båda sidor, se figur 1.

Vid vändning slås ventilen över till manuell styrning. Om kortslutning uppstår i det elektriska systemet övergår styrningen automatiskt i manuell läge.



Figur 1. Hydraulventil för automatisk mekanisk styrning (Pool et al, 1985).

Det mekaniska systemet. - Det mekaniska systemets huvudkomponent är de sfäriska skivorna som via styrarmen står i förbindelse med Pitman-armen på traktorn.

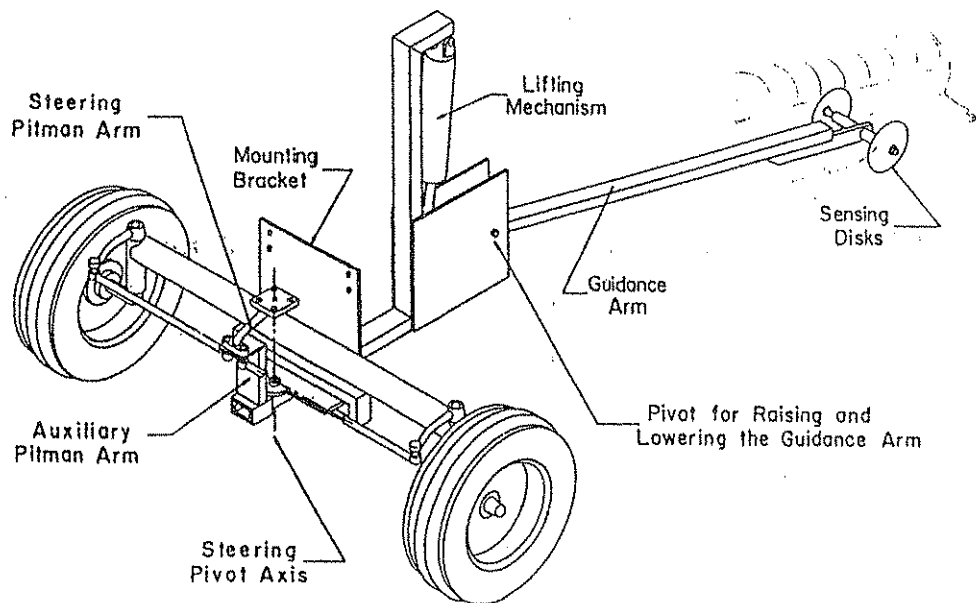
Systemet består av fyra grundkomponenter, se även figur 2:

- styrarm
- lyftmekanism
- en extra Pitman-arm
- fästordning.

Ett enkelt prov visade att ett vridmoment på ca 250 Nm åtgick för att styra framhjulen. Styrarmen gjordes tre meter lång, mätt från styrningens pivåxel till centrum av styrskivorna. Detta för att reducera styrkraften och öka känsligheten på systemet. De sfäriska skivor som användes som avkännare för

styrningen gavs en diameter på 203 mm. Avståndet mellan styrskivorna kunde varieras med hänsyn till styrfårans bredd.

Styrarmen var upphängd 0.6 m framför styrningens pivåxel för att den skulle få god följsamhet samt för att möjliggöra lyftning vid vändning och transport. Styrarmen lyftes med hjälp av traktorns yttre hydraulik, varefter föraren manövrerade traktorn på vanligt sätt genom att aktivera solenoiden.



Figur 2. Det mekaniska systemets grundkomponenter (Pool et al, 1985).

Praktiska försök

Styrsystemet provades på två sätt:

- olika såradier för att utröna den minsta radie vid vilken systemet kunde leda traktorn med acceptabel körhastighet och precision
- fältförsök i gröda med normala radavstånd och körmönster.

Olika såradier. - För att bestämma noggrannheten i systemet anlades sex halvcirklar med radier från 15.2 till 30.5 meter. Var och en av dessa halvcirklar började och slutade med en 15.2 m lång raksträcka.

Utvärderingen av systemet tillgick enligt följande: Först markerades 15 referenspunkter utmed halvcirkeln varefter ett spår avsattes med en skivrist när traktorn kördes i halvcirkeln. Genom att mäta avståndet från det avsatta spåret till referenspunkterna erhöles ett mått på noggrannheten hos systemet.

Normala odlingsbetingelser. - Fältförsök utfördes i en konventionell bomullsodling. Bomullen odlades med ett radavstånd på 1 m. Med en spårvidd på 2 m kunde traktorn gränsla två rader med styrfåran emellan.

Mätningar utfördes för att uppskatta reperterbarheten av systemets noggrannhet. Avståndet mellan plantrad och ett redskap för mekanisk ogräsbekämpning mättes på båda sidor om redskapet och ett konfidensintervall beräknades.

Resultat

Allmänt. - Det automatiska styrsystemet provades på en International Harvester 544. Denna modell har en styrning av typen öppet centrum. Inledande prov utfördes vid olika hastigheter och djup på styrfåran. Dessa prov visade att minst 50 mm djup krävdes på styrfåran för att styrsnivorna skulle ligga kvar i fåran. Allmänna observationer tydde på att ett fårdjup lika med diametern på styrsnivorna gav den bästa stabiliteten.

Olika såradier. - De vid försöken använda radierna varierades som nämnts tidigare mellan 15.2 och 30.5 m. Hastigheterna vid försöken varierades mellan 3.2 och 9.7 km/h.

Den minsta radie som styrsystemet förmådde att leda traktorn igenom, utan att styrarmen gick ur fåran, uppmättes till 18.2 m vid 9.7 km/h. Beräkningar som gjorts på data från prov i de olika radierna visar att man med 95 % konfidens kan säga att den maximala avvikelsen från endera sidan referenslinjen var 18.8 mm (Pool et al, 1985).

Normala odlingsbetingelser. - Försök med att ogräshacka i en konventionell bomullsodling utfördes med hjälp av det automatiska styrsystemet. Härvid användes en standard 4-raders kultivator med parallellupphängda arbetsorgan.

Mätningar utfördes för att se hur nära plantraden kultivatoren gick. Genom att mäta avståndet till raden från kultivatorns yttre arbetsområde kunde noggrannheten hos systemet bestämmas. Eftersom en del av avvikelsen kommer att bero på glapp i trepunktslyften, i vilken redskapet var upphängt, beräknades först ett konfidensintervall för rad yttre-arbetsområde.

Man kom här fram till att kultivatorns arbetsområde kunde variera med ± 17.3 mm, och ändå ligga inom det 95 %-iga konfidensintervallet. Tar man kultivatorns variation i beaktande, med avseende på trepunktslyften, kan man med 95 % konfidens säga att systemet förmådde leda traktor och redskap ± 19.5 mm från plantraden (Pool et al, 1985).

Bildbehandling

Bakgrund

Ett problem vid automatisk styrning är att läget är viktigare än riktningen (Gerrish et al, 1985). Lösningar har framkommit på senare tid där man enbart koncentrerat sig på positionsfel utan att ta hänsyn till riktningsfel. Tar man enbart hänsyn till positionsfelet leder detta vanligen till att systemet blir instabilt.

Fördelarna med bildbehandling är enligt Gerrish och Surbrook (1983) följande:

- systemet ser framåt vilket möjliggör effektiv s k open-loop styrning. Detta medför att systemet blir stabilare än om avkänningen av grödan är "närsynt"
- inga yttre avkännare behövs på fordon eller redskap
- en potentiell möjlighet att anpassas till ett flertal grödor.

Beräkningar som gjorts visar att en väldefinierad linje kan lägesbestämmas med en noggrannhet på ± 10 mm i en punkt direkt under kameran (Gerrish, 1985).

Problemet är att under normala odlingsbetingelser extrahera fram en sådan linje ur en bild. Samt att göra detta tillräckligt fort för att få en användbar styrsignal som tillåter en acceptabel framföringshastighet. En tid något under 0.3 s är troligen vad som krävs för att få fram en användbar bild för styrinformation (Ballard och Brown, 1982).

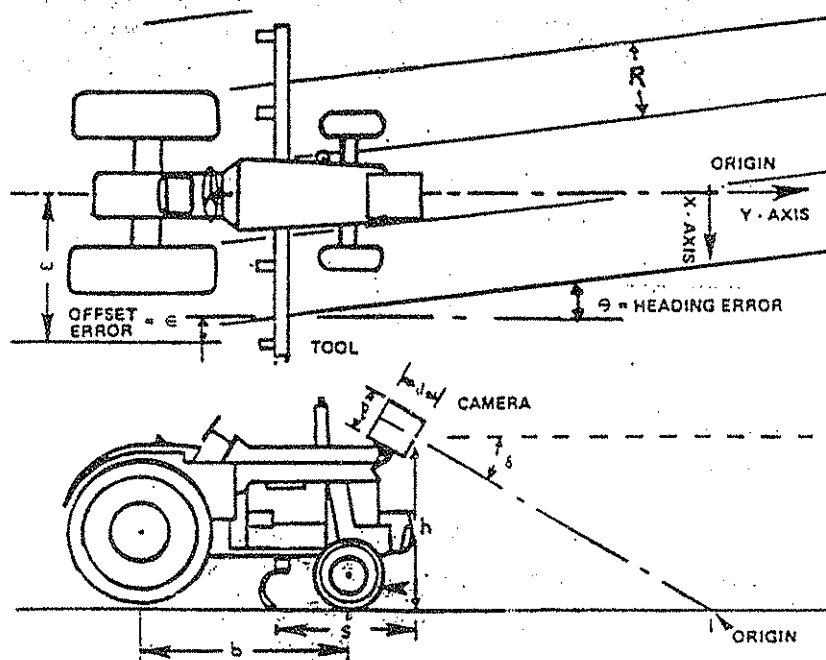
En viktig aspekt vid bestämmandet av styrsignal är att undersöka den bildbehandling som krävs för att isolera och definiera styrriktningen i en bild. För radgrödor kan riktningen definieras antingen av plantraden i sig eller av mellanliggande utrymme.

Hur fungerar systemet?

Bilduppdelning allmänt. - Ett bildbehandlingssystem på ett fordon, se figur 3, matar in en två-dimensionell bild från raden i fordonets väg. Varje bild består av diskreta bildelement s k pixels, som representerar lokala skillnader i intensitet hos grödan på fältet.

Bildintensiteten mäts i en gråskala med en given upplösning. Styrinformation extraheras sedan från en bild som huvudsakligen kommer att visa två komponenter: grödan och mer eller mindre ogräsfri jord mellan raderna.

För att få systemet att fungera måste en del åtgärder vidtagas. Så är t ex reflektionen från grödan betydligt större än från jorden. Detta gör att ett filter måste sättas på kameran för att en uppdelning av bilden skall vara möjlig. Vidare varierar reflektionen kraftigt beroende på bl a skuggbildning, solintensitet m m. Dessa variationer i ljusintensitet minimeras genom att använda en kamera som automatiskt anpassar iris hos objektivet.



Figur 3. Översiktsbild från ovan och från sidan av traktor utrustad med bildbehandlingssystem för automatisk styrning i radgröda (Gerrish et al, 1985).

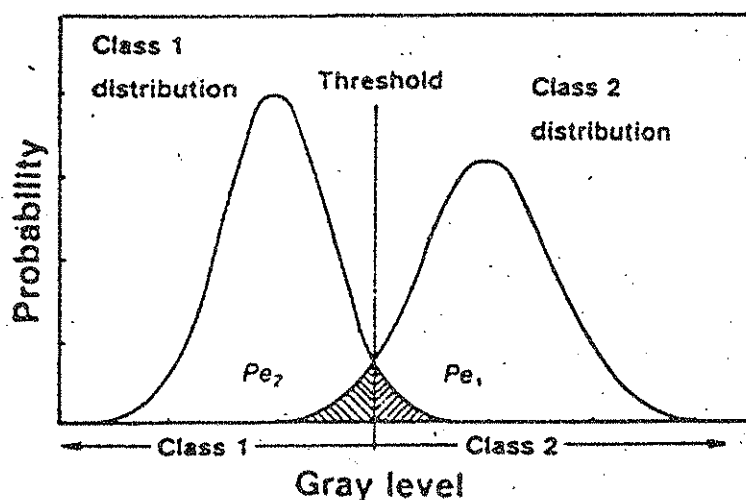
Extrahering av styrriktning ur bilden. - Som nämnts ovan karakteriseras den bild som används för styrinformation av de olika intensiteter som gröd- och jordpixels uppvisar. Använder man två klasser av pixel är tröskelvärdesbildning ett snabbt och effektivt sätt att få fram styrinformation (Reid et al, 1987).

I början på odlings säsongen kommer en bild av ett radsått fält huvudsakligen visa jordpixel. Allteftersom grödan växer kommer dock andelen av dessa pixel i bilden att öka. En strategi är då att kontinuerligt byta tröskelvärde i takt med att de olika andelarna ändras. Genom att använda sig av denna metod kan bilden delas upp på ett bättre sätt under de varierande stadier som är i realiteten.

Uppdelning av pixel i två klasser som illustreras i figur 4, baseras på att man bestämmer på vilken sida om tröskelvärdet som ett givet pixel skall ligga. Den intressanta hypotesen för varje givet pixel (x), är:

- x tillhör klassen av plantpixel
- x tillhör klassen av jordpixel

Det antas att en bild helt utgörs av dessa båda klasser. För att extrahera styrraden ur bilden antas även att huvuddelen av plantorna i bilden ligger väl samlade i raden. Ogräs i området mellan raderna kommer i bilden att framstå som spridda plantor mot jordbakgrund.



Figur 4. Uppdelning av bild i två klasser med hjälp av dynamiska tröskelvärdet (Reid et al, 1987).

Analys av styrfel

Två typer av styrinformation kan erhållas för att leda fordonet: riktningsfel och positionsfel.

Riktningsfel uppstår när en vinkelavvikelse finns mellan kamerans centrumlinje och en linje parallellt med grödan. Riktningsfelet kan bestämmas med god noggrannhet men är komplicerat att beräkna.

Positionsfelet hos fordonet som observeras i bilden är svårt att bestämma p g a behovet att veta styrradens exakta position (Reid et al, 1987).

När ett positionsfel föreligger kommer styrraden att befinna sig en viss sträcka från kamerans vertikala axel. För att kunna beräkna felet antar man att fältet är plant och att raderna ligger på detta plan. Med dessa antaganden kan sedan felet beräknas med hjälp av geometriska transformationer mellan bildplanet och raderna på fältet.

Systembegränsningar

Svårigheter att bestämma riktnings- och positionsfel uppstår när grödan fått en viss höjd. Detta beror på att radernas position inte nödvändigtvis sammanfaller med radens mitt i bildplanet. Den största svårigheten ligger i att bestämma positionsfelet.

En simuleringsmodell av ett fordon styrt med hjälp av kamera har gjorts av Reid et al (1987). Vid experiment med denna modell framkom att felet i position låg mellan $\pm (0.35-0.55)$ m, beroende på grödans höjd. Grödan som användes vid simuleringen var 0.5 m bred och höjden 0.6 respektive 0.8 m.

En möjlig utvecklingsväg för att förbättra positionsbestämningen är enligt Reid et al (1987) att man: med vetskap om att positionskorrektionen är i riktning mot styrraden, gör en korrektion vars storlek är en funktion av radavstånd och planthöjd.

Alla fält kommer heller inte att ge tydliga binära avbildningar, varför mer forskning inom området krävs.

Praktiska försök

Vid försök med bildbehandlingssystem i lökodling, har positionen bestämts med en noggrannhet på ± 45 mm. Riktningen har bestämts med en noggrannhet av ± 0.3 grader. Det bör tilläggas att raderna i lökodling är mycket väldefinierade.

Vid försök att följa en kant av Alfalfa, visade det sig i det närmaste omöjligt att extrahera fram en användbar bild för styrinformation (Gerrish et al, 1985). Man tror sig dock kunna lösa även detta problem med t ex olika sorters filter.

Kabelstyrning

Allmänt

Kabelstyrning är den metod som tilldragit sig störst intresse för automatisk styrning av fordon i jordbruket.

Av de olika försök som gjorts kan nämnas bl a Rushing (1971), som konstruerade ett system med nedgrävda kablar. Detta system gavs med en förstärkare en frekvens på 2800 Hz. Rushing uppger att noggrannheten hos styrningen vid upprepade körningar med 9.7 km/h hastighet låg på ± 25.4 mm.

En annan typ av kabelstyrning konstruerades av Widden och Blaire (1972). Det systemet fungerade på så sätt att kabeln lades ner vid första körningen över fältet. Vid nästa kördrag följde traktorn kabeln varefter den togs upp för att förflyttas till nästa drag, o s v.

Nedan redogörs för ett försök Young et al (1981) att styra en traktor med hjälp av kablar. Först dock något om den allmänna funktionsprincipen hos kabelstyrning.

Funktionsprincip

Automatisk styrning med hjälp av nedgrävda kablar fungerar i princip enligt följande:

Elektriskt ledande kablar grävs ner till frostfritt djup med ett lämpligt avstånd emellan. Sedan läggs en växelspanning över kablarna och den så uppkomna strömmen ges en styrka på vanligen 150 mA och en frekvens på 2 kHz (Nybrant, 1989). När en elektrisk ström flyter genom en ledare, uppstår ett elektromagnetiskt fält runt densamma. Detta fält kan sedan avkännas med hjälp av en antenn, monterat på det fordon man önskar styra.

Styrsystemets uppbyggnad

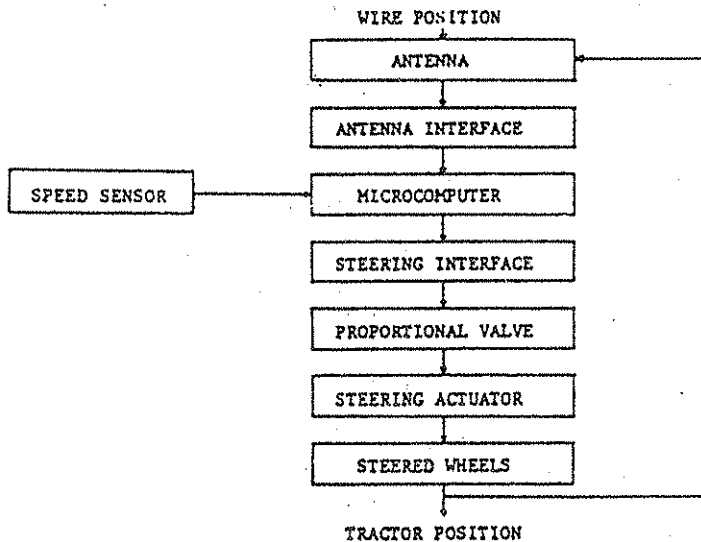
Ett blockdiagram på de väsentligaste komponenterna som ingår i det system som Young et al (1981) byggde, visas i figur 5. Signalen från antennen behandlas i överföringsenheten (antenna interface) så att mikrodatorn kan beräkna positionsfelet. Beroende på riktning och om positionsfel föreligger, beräknar datorn lämpligt styrutslag för att traktorn skall erhålla rätt position. Mikrodatorns beräknade styrutslag omsätts till verkligt styrutslag med traktorns hydraulik via överföringsenheten (steering interface). På det här sättet leder systemet traktorn längs den väg som definieras av kabeln.

Young et al (1981) utvecklade två algoritmer för att få mikrodatorn att beräkna korrekta styrutslag. Båda algoritmerna ökar styrutslaget så länge som positionsfel föreligger. Två variabler påverkar systemet: ett intervall (T) under vilken tid systemet samlar in läges signaler från antennen och ett intervall (U) under vilket styrutslaget ökas så länge som positionsfel föreligger.

Variabeln (T) valdes så att positionen inte skulle ändra sig för mycket under intervallet. (T) fick dock inte vara så litet att mikrodatorn inte fick tid att utföra andra uppgifter. De två algoritmerna skiljde sig åt på det sätt vilket variabeln (U) bestämdes. I ena algoritmen hölls (U) konstant vid alla hastigheter, denna algoritm kallas därför i fortsättningen för "icke fartberoende" (IFB). I den andra algoritmen varierade (U) enligt:

$U = 0.2/s$ där s = framföringshastigheten i km/h

Denna algoritm kallas följaktligen för "fartberoende" (FB).



Figur 5. Blockschema över kabelstyrningens väsentligaste komponenter (Young et al, 1981).

Praktiska försök

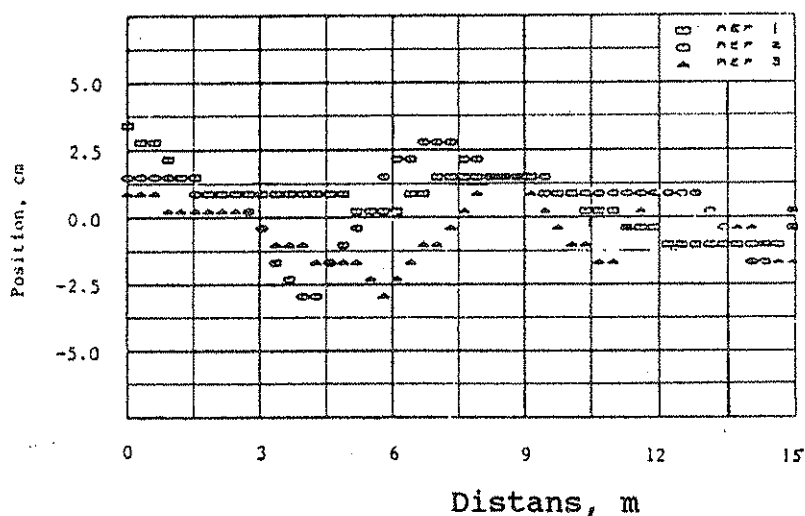
För att utvärdera noggrannheten hos systemet provades det på tre olika banor:

- en rätlinjig
- en sinusformad
- en bana med ett steg inlagt.

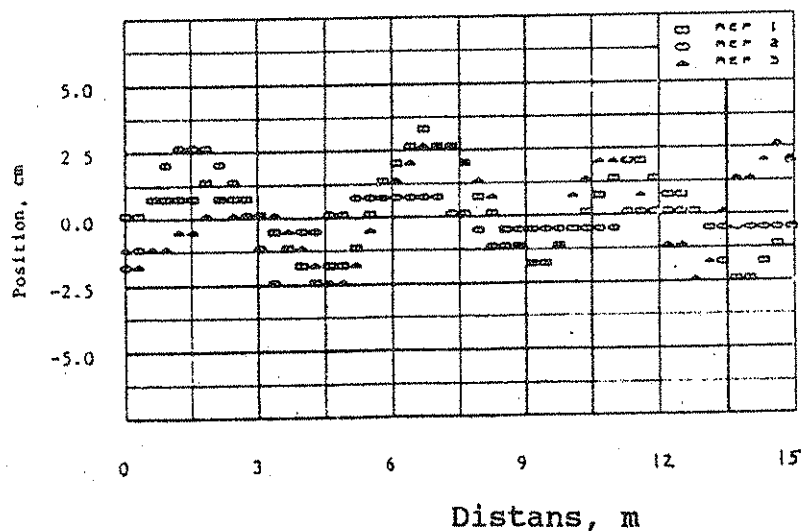
Kabeln som definierade kursen lades på en asfalterad plan. Papper lades ut bredvid kabeln och på detta markerades traktorns position. Varje bana, som var 15 m lång, kördes tre gånger. Avvikelsen från korrekt kurs erhöles genom att avståndet från papperskanten till den avsatta markeringen mättes med 0.3 m intervall. Samtliga uppmätta värden genomgick efter proven statistisk analys.

Prov i rätlinjig bana. - Tre körningar utfördes vid fyra olika hastigheter med både den (FB) och (IFB) algoritmen. Använda hastigheter var 5.5, 8.0, 10.5 samt 13.0 km/h.

Uppmätta positioner på traktorns front med de båda algoritmerna vid 8.0 km/h visas i figurerna 6 och 7. Systemets uppträdande vid denna hastighet var typiskt för alla prov som utfördes. I allmänhet hade traktorn, enligt Young et al, en tendens att oscillera runt den önskade kursen. Positionsfelen ökade signifikant med ökad hastighet. Någon signifikant skillnad av praktisk betydelse mellan de båda algoritmerna förelåg ej. De ökande positionsfelen ansågs ligga inom acceptabla gränser för de arbeten som kan tänkas utföras vid de olika hastigheterna.

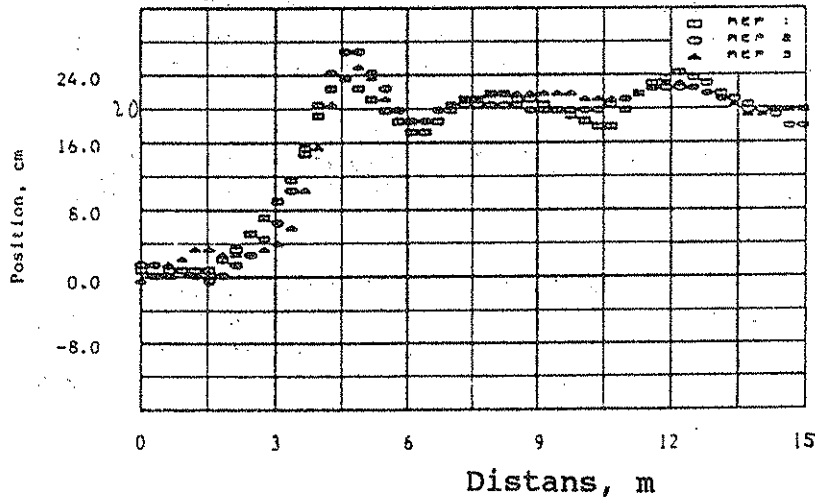


Figur 6. Position på traktorns front vid prov i rätlinjig bana. (IFB) algoritmen, 8.0 km/h (Young et al, 1981).

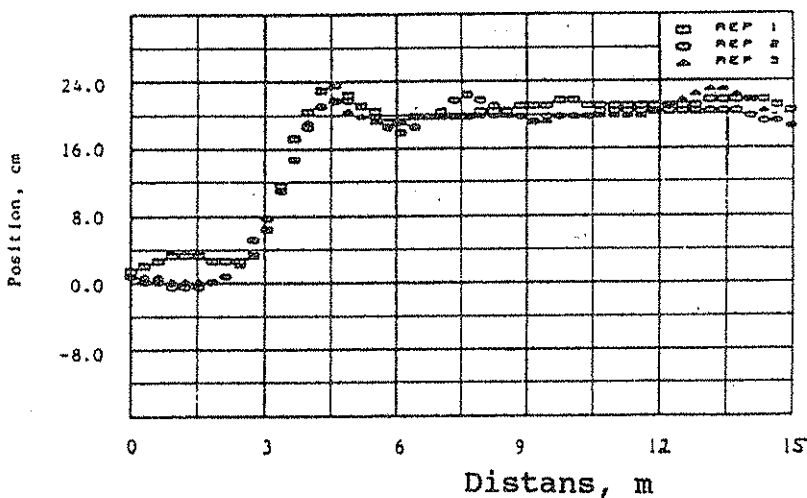


Figur 7. Position på traktorns front vid prov i rätlinjig bana. (FB) algoritmen, 8.0 km/h (Young et al, 1981).

Prov i bana med steg inlagt. - Proven med ett steg inlagt utfördes så att kabeln som definierade kursen lades rakt men att den efter 3.5 m förskjöts 0.2 m. I försöksbanan provades de båda algoritmerna med två upprepningar. Uppmätta positioner på traktorns front med den (IFB) samt (FB) algoritmen vid 8.0 km/h visas i figurerna 8 och 9.



Figur 8. Position på traktorns front vid stegtest. (IFB) algoritmen, 8.0 km/h (Young et al, 1981).



Figur 9. Position på traktorns front vid stegtest. (FB) algoritmen, 8.0 km/h (Young et al, 1981).

Det visade sig vid samtliga prov att antennen kände av förändringar i det elektromagnetiska fältet innan antennen var mitt över steget. Resultatet blev att traktorn började ändra sin position innan den nått fram till steget.

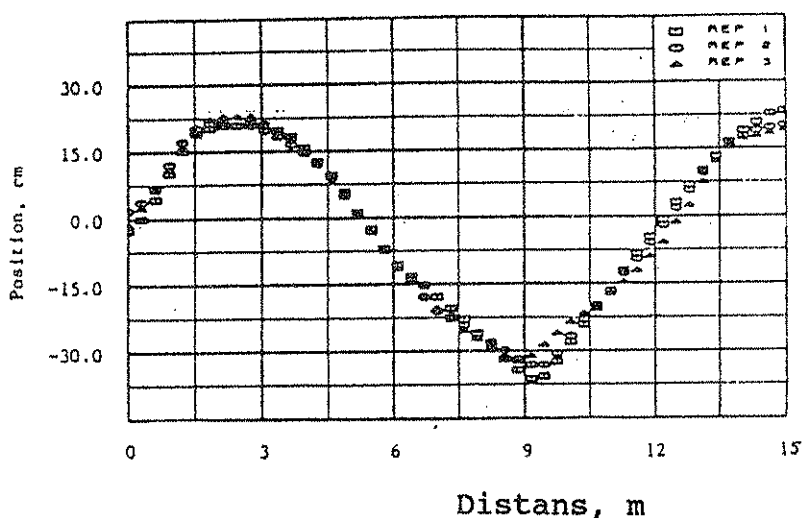
Från noggrannhetssynpunkt var Young et al intresserade av två parametrar förknippade med stegfunktionen: Det maximala felet, överslängen, när traktorn förflyttade sig till den nya positionen samt tiden för insvängning till ny position.

Vid låg hastighet, 5 km/h, kunde ingen skillnad mellan de båda algoritmerna uppmätas. Vid högre hastigheter visade sig (FB) algoritmen signifikant bättre. Med (IFB) algoritmen uppmättes en maximal översläng på 5.1 cm medan överslängen med (FB) algoritmen uppmättes till 2.7 cm.

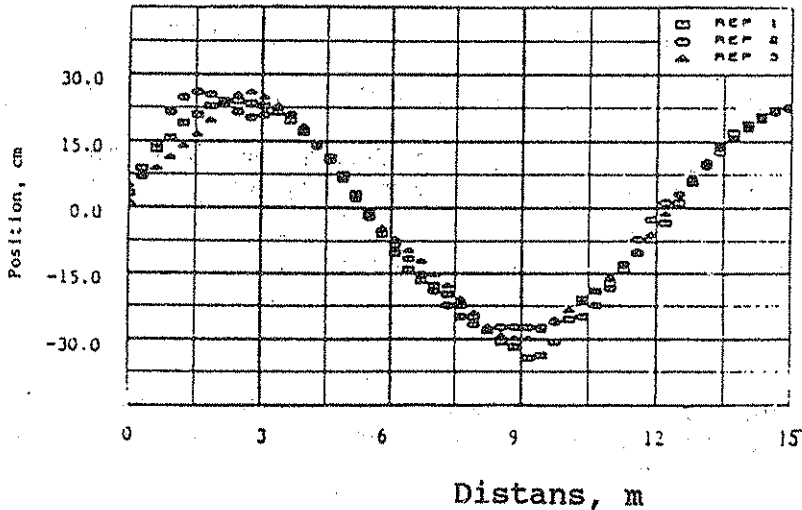
Någon signifikant skillnad mellan de båda algoritmerna vad avser tid för insvängning till ny position förelåg enbart vid hastigheter över 11 km/h.

Den sträcka som krävdes för systemet att stabiliseras låg vanligen kring 3 m. För (IFB) algoritmen krävdes dock 8.5 m vid 11.5 km/h innan systemet åter stabiliserats. Sträckorna som uppmättes till den punkt där systemet ansågs stabilt mättes med utgångspunkt från traktorns drag.

Prov i sinusformad bana. - Sinusvågen omfattade 1.25 perioder, amplituden var 0.61 m och periodlängden 12 m. Båda algoritmerna provades på samma sätt som tidigare. Resultat från körning vid 8.0 km/h med de båda algoritmerna visas i figurerna 10 och 11.



Figur 10. Position på traktorns front vid prov i sinusformad bana. (IFB) algoritmen, 8.0 km/h (Young et al, 1981).



Figur 11. Position på traktorns front vid prov i sinusformad bana. (FB) algoritmen, 8.0 km/h (Young et al, 1981).

Analys av erhållna försöksresultat

Den (FB) algoritmen minimerade ej hastighetens inverkan på systemets noggrannhet i någon betydande mening.

Egenskaper hos det hydrauliska systemet vad avser förmåga att snabbt ställa om styrhjulen, kan ha begränsat systemets prestanda vid de högre hastigheterna. Vid 11.0 km/h räknade (FB) algoritmen upp styrutslaget 55 ggr/s. En hydraulisk proportionell ventil med en bredare bandvidd än den i försöken använda, borde enligt Young et al förbättra (FB) algoritmens prestanda. Möjligen borde även intervallet (T) ändras med ökande hastighet.

Automatisk styrning med hjälp av ultraljud

Inledning

Vid 1985 års ASAE winter meeting presenterade Patterson et al, en metod att med hjälp av ultraljud styra en såmaskin. Syftet med arbetet var att komma ifrån de långa markörarmar som används idag och ofta ställer till med problem. Metoden är dock generell och skulle troligen kunna användas även till andra typer av arbeten.

Styrsystem konstruerades under följande antaganden/villkor:

- föraren skulle via ett visarinstrument förses med styrinformation
- systemet skulle arbeta oberoende av någon annan komponent på fordonet
- vara begränsat till raka rader

- en mikrodator skulle användas för att sköta hanteringen av data till och från systemet.

Systemet var huvudsakligen uppbyggt av fyra delar:

- ultraljudsenheten som skulle känna av en fysisk markering
- en display för att förse föraren med styrinformation
- ett reservsystem i det fall inget eko mottogs
- en enkel försöksmaskin.

Systemets funktion

På försöksmaskinen, figur 12, monterades utrustningen som bestod av två Polaroid ultraljudsenheter, optiska avkännare för reservsystemet samt styrutrustning.

De två ultraljudsenheterna, (UE), placerades 81 cm ovanför marken och 18 cm isär enligt figur 13. Med (UE) placerade på detta sätt bildades två överlappande koner som kunde avkänna en fysisk markering inom ett intervall på 45.7 cm. Genom att konerna överlappade varandra, kunde styrinformation ges till föraren.

Om båda (UE) mätte samma avstånd till markeringen gavs inget utslag på visarinstrumentet. Beräknades däremot en skillnad i uppmätt avvikelse gjordes en korrektion i riktning mot den (UE) som uppmätt längst sträcka, i enlighet med utslaget på visarinstrumentet.

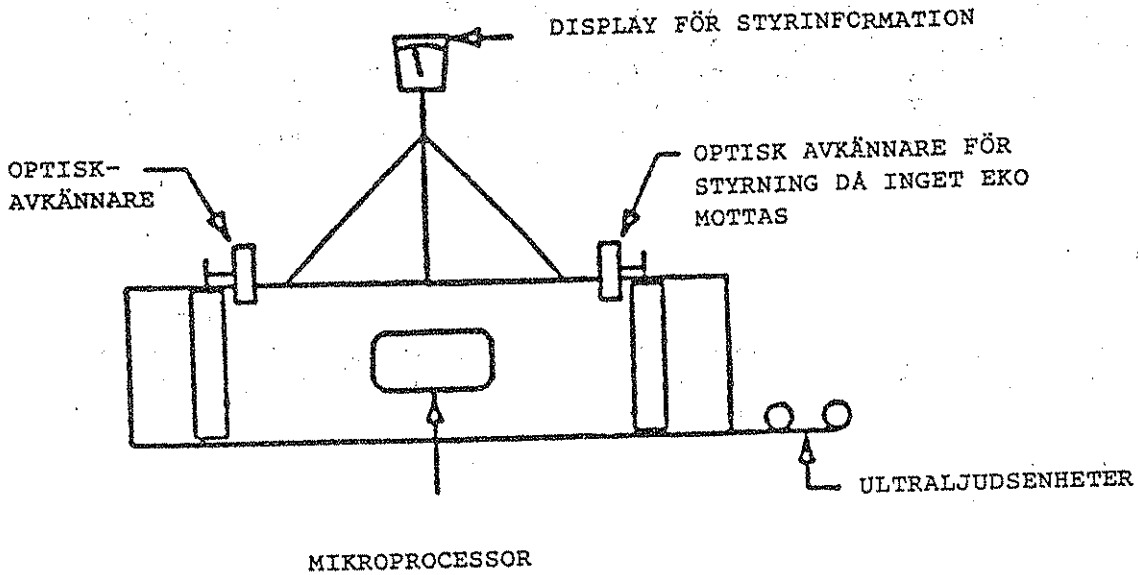
I det fall maskinen flyttat sig så mycket att bara en av (UE) mottog eko indikerade mätaren enbart till vilken sida om markeringen som maskinen förflyttats. I detta senare fall angavs inte den relativa förflyttningen gentemot markeringen vilket var fallet då båda (UE) mottog eko.

Båda (UE) kopplades till en enkel kontrollenhet, och en analog multiplexer, kontrollerad av mikrodatorn, användes för att aktivera en (UE) åt gången via nämnda kontrollenhet. Då systemet hade en cykel på 4 ggr/s medförde detta att 8 avståndsmätningar/s utfördes.

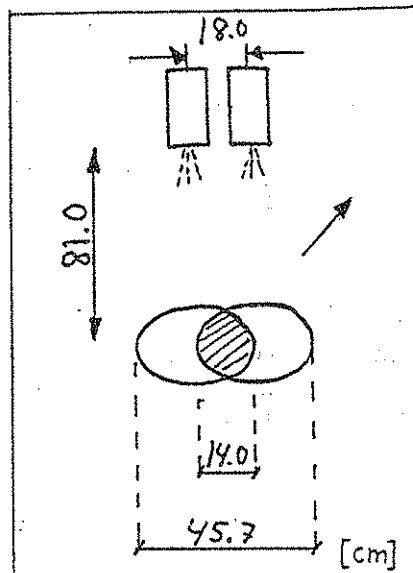
Två s k flaggor, en sändnings- och mottagarflagga, som utgjordes av s k flip-flop brytare, fanns i kontrollenheten. Sändflaggan indikerade starttiden för en signal och mottagarflaggan indikerade mottaget eko. Med ledning av den skillnad i tid som beräknades från de två (UE) fick man fram avståndet till markeringen. Innan varje "avfyrning" av (UE) nollställdes flaggorna av systemets mjukvara.

Maskinen var även utrustad med ett system för att ge föraren styrinformation i det fall inget eko mottogs från någon av de båda (UE). Mycket schematiskt bygger detta system på att en tänkt linje, parallell med raderna kontinuerligt uppdateras. Om sedan inget eko mottas ges föraren styrinformation,

vilken baseras på avvikelser från denna tänkta linje. Detta system förutsätter som nämndes inledningsvis, helt raka rader.



Figur 12. Försöksmaskinen med utrustning för automatisk styrning (Patterson et al, 1985).



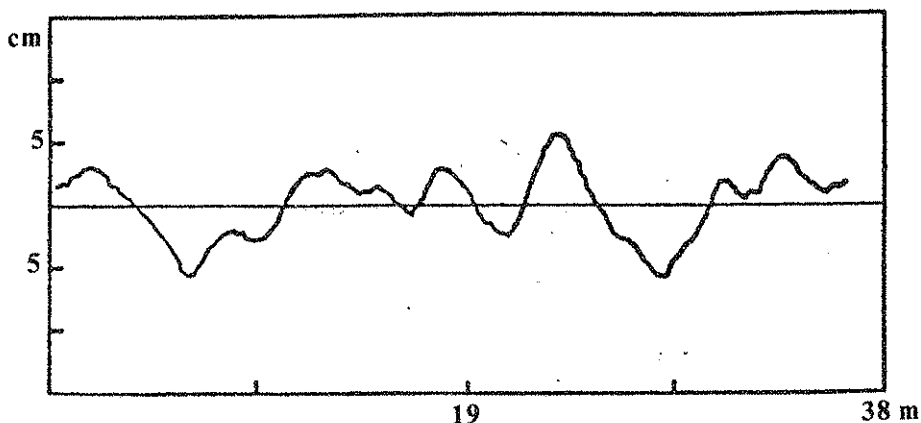
Figur 13. De två ultraljudsenheterna och de överlappande koner de bildar, vilket tillåter lateral positionsbestämning inom 45.7 cm (Patterson et al, 1985).

Testprocedur

Samtliga försök med maskinen utfördes inomhus i en stor hall. Testbanan var 38.1 m lång. Försöksmaskinen drogs sedan manuellt genom banan med en hastighet som beräknades till c a 4 km/h. Som fysisk markering tjänade upplagda 2" 4 brädor. Det visade sig vid tidigare försök att (UE) förmådde att skilja på konvexa och konkava markeringar med lika hög precision. Papper lades ut på golvet och en penna på maskinen markerade positionen.

Resultat

Försöksmaskinen placerades i början av banan så att (UE) indikerade den fysiska markeringen. Maskinen drogs sedan banan fram och positionen korrigerades i enlighet med utslaget på visarinstrumentet, se figur 14.



Figur 14. Position på försöksmaskinen vid prov i rätlinjig bana (Patterson et al, 1985).

Avvikelsen från markeringen var vanligen inte mer än ± 5 cm. Även om maskinen kunde ledas genom hela banan utan att förlora kontakten med markeringen, så oscillerade maskinen runt densamma. Detta beror på att systemet ej kan se framåt (Patterson et al, 1985).

Tröghetsnavigering

Tröghetsnavigering är en sedan lång tid tillbaka väl utvecklad metod för navigering och används på båtar och i flygplan. De vitala delarna i ett sådant här system är ett gyro och en s k accelerometer.

En av de stora fördelarna med tröghetsnavigering är att inga yttre källor av typen radio, ledkablar eller sonarutrustning krävs. Detta innebär att systemet är självförsörjande på information (Zingery, 1984). Det enda som krävs är att man definierar utgångspunktens koordinater.

Det som begränsat användningen av dylika system i jordbruket är dess höga pris och relativt dåliga precision vad gäller positionsbestämning. Arbete pågår för att ta fram system med bättre precision och till ett pris som är realistiskt för att kunna utnyttja systemet i jordbruket.

De centrala delarna i de system som är under utveckling är laser- och fiberoptiska gyron samt laseraccelerometrar. Detta är sensorer utan några rörliga delar och är till sitt verkningssätt elektrooptiska eller elektromagnetiska.

De mätande enheterna

Accelerometern. - Accelerometern beräknar, som namnet anger, accelerationen. I en s k enkelintegrerande accelerometer kan hastigheten beräknas. En dubbelintegrerande dito kan utifrån en given punkt beräkna förflyttningen. Kvantitativa värden på hastighet och tillryggalagd sträcka kan erhållas i det närmaste momentant. Detta beror på att integreringen görs mekaniskt i systemet snarare än beräkningsmässigt.

Gyrot. - Teorin för hur ett lasergyro fungerar är tämligen komplicerad men funktionsprincipen bygger på den s k Sagnac-effekten, upptäckt av nämnde Sagnac 1913.

Effekten visar sig som en fasskillnad mellan två ljusstrålar och uppstår då två mot varandra roterande ljusstrålar, i en fast uppställning, utsätts för rotation. Genom att sedan mäta storleken på fasskillnaden kan vinkelavvikelsen från en definierad utgångsvinkel bestämmas.

Hur fungerar systemet på ett fordon?

I ett enkelt system sitter sensorerna fast monterade på fordonets ram och rör sig följdaktligen med denna. Information om hastighet och position går till en mikrodator, vilken beräknar läget i förhållande till utgångspunkten.

Med andra ord måste den kurs som skall följas, i det här fallet en sårad, finnas inprogrammerad i datorn. Avvikelsen från denna kurs måste sedan korrigeras på ett ur reglerteknisk synvinkel tillfredsställande sätt.

Framtidsutsikter för tröghetsnavigering

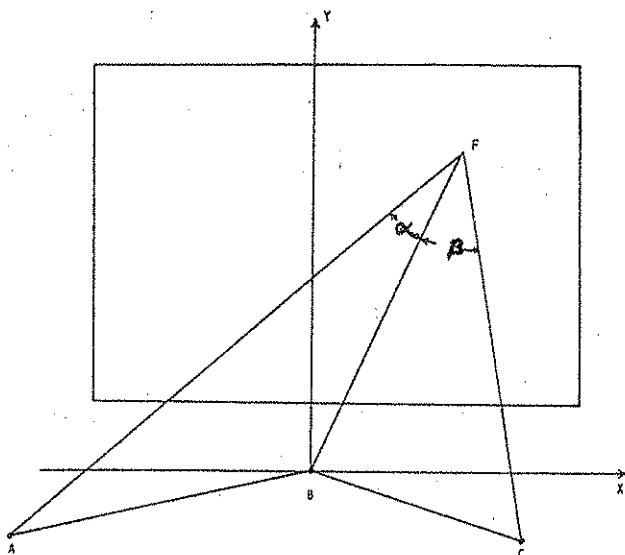
Zingery (1984) uppskattar att det i början på 90-talet kommer att finnas system ute till en acceptabel kostnad. Man bör dock inte räkna med att system av den här typen kommer att ge en acceptabel precision för det här arbetets ändamål, ± 2.5 cm. För andra typer av arbeten t ex konstgödselspridning kan systemet troligen ges en fullt acceptabel precision.

Laserstyrning

Ett sätt att utnyttja en laser för automatisk styrning är sk triangulering med hjälp av fixa punkter. För att kunna bestämma position behövs tre sådana fix-punkter, se figur 15. Dessa punkter kan avkännas med en roterande laserstråle, men även akustiskt eller med radiovågor.

Fördelen med laser är att den kan bestämma avståndet till fix-punkterna med högre noggrannhet. För att bestämma position mäter man således avståndet till de olika fix-punkterna och en dator beräknar tillhörande vinklar för att få fram positionen. Systemet anger positionen i förhållande till fix-punkterna och den kurs man vill följa måste vara förprogrammerad i datorn för att jämföras med beräknade värden vid körning.

För att erhålla en hög precision måste vinklarna kunna beräknas med en noggrannhet på $1/100$ grad för att inte få en större avvikelse över ett 100 m långt fält än ± 2.5 cm. Detta innebär att en avståndsmätning måste göras med en precision på ± 1 cm.



Figur 15. Positionsbestämning med hjälp av 3 st fixpunkter (Young, 1976).

Positionsbestämningen går till så att bäringen på de tre punkterna A, B och C tas, samtidigt som vinklarna α och β bestäms.

Vid litteraturgenomgången har inget material funnits som behandlar exakt styrning med hjälp av laser. En Israelisk undersökning av Mizrach et al (1987) behandlar dock styrning av stora bevattningsramper med hjälp av laser-triangulering.

Mizrach et al konstaterar i undersökningen att precisionen för att använda systemet för exakt kultivering var för låg. Detta beroende på bl a svårigheter att få lasern att rotera med konstant hastighet och att ljuset pulsades ut med för låg frekvens (250 Hz). Detta senare innebar att man inte kunde sampla på lägre tider än 4 ms.

Avslutningsvis kan sägas att det troligen kommer att dröja några år innan system av den här typen uppfyller kraven på cm-precision, åtminstone till ett för lantbrukets förhållanden realistiskt pris. För övrigt är det ett intressant system som ger möjlighet till helt förlösa traktorer.

UTVÄRDERING AV OLIKA METODER FÖR AUTOMATISK STYRNING

För att styra fordon automatiskt i allmänhet, kan fyra huvudmetoder urskiljas. I diskussionen redogörs för dessa fyra metoder med anknytning till de i litteraturstudien redovisade systemen. De fyra huvudmetoderna innefattar styrning med hjälp av:

- fysisk markering
- fasta installationer på fältet
- fix-punkter (triangulering)
- digital bildbehandling.

Den första metoden innebär att styrning sker efter spår som dragits upp vid sådd. Detta spår kan sedan avkännas med t ex ett smalt hjul monterat på fordonet. Hjulets position i förhållande till traktorn kan mätas och kopplas till en reglerutrustning som styr fordonet. Problemet är att ritsa upp ett väldefinierat spår på vissa jordtyper. Spåret måste också motstå påverkan av t ex regn.

Ett sätt att eliminera problemet med att bevara spåret vore att dra upp spåren vid radrensningen. Detta innebär att första körningen måste göras manuellt. Precisionen på de efterföljande dragen beror sedan helt på hur väl man lyckats följa raderna vid första kördraget.

Dessvärre har även detta system allvarliga nackdelar. Radavståndet måste vara exakt lika över hela fältet. Detta kan vara mycket svårt att uppnå då man vid sådd styr visuellt efter spår gjorda av markörer. Man erhåller så gott som alltid ett annat radavstånd i skarven mellan två spårdrag. Även om man kunde hålla exakt lika stort radavstånd över hela fältet så uppstår andra problem. Om avkännaren, som skall följa spåret,

utsätts för en störning i form av t ex en sten så kommer en liten böj på markeringen att bildas. Denna böj kommer sedan att utvidga sig för varje nytt kördrag. Resultatet blir att avkännaren till slut inte förmår följa spåret, utan hoppar ur.

Metoder har provats att förutom att avkänna spåret även bestämma riktningen på traktorn med hjälp av t ex jordens magnetfält. Fördelen med detta är att systemet blir stabilare, d v s inte så känsligt för snabba förändringar av spåret.

Metoden går kortfattat ut på att man bestämmer vilken riktning raderna har relativt t ex jordens magnetfält, vilket är relativt konstant till sin riktning inom ett begränsat område, och korrigerar traktorn efter avvikelser från denna riktning samtidigt som avkännaren indikerar den laterala avvikelser.

För att klargöra principen kan man tänka sig en människa som skall följa ett spår, med ögonen förbundna, enbart med hjälp av en käpp. Det är mycket svårt att gå rakt fram under sådana förutsättningar och samtidigt mitt över spåret. Visste man däremot i vilken riktning man skulle gå vore det mycket lättare att med hjälp av käppen gå rakt över spåret. Även om den här metoden kan förbättra systemet med styrning efter körspår gjorda vid radrensningen, så kvarstår problemet med radavstånden.

Det sistnämnda tillvägagångssättet skulle kunna gå att applicera på det beskrivna ultraljudssystemet för att få det stabilare.

Om man skulle göra ett försök att följa en sårad med hjälp av ultraljud får man tänka sig att utnyttja plantraden som fysisk markering.

Svårigheten ligger då troligen i att avkänna raden i ett tidigt och sent stadium. I första fallet för att grödan inte utgör någon skarpt avgränsad markering och i andra fallet för att den böjer sig för vinden.

Ett naturligt sätt att kringgå det senare problemet vore att mäta nära stråbasen. Emellertid måste en ultraljudsenhet mäta på ett avstånd större än 30 cm från det avkända objektet för att god noggrannhet skall erhållas. Detta innebär att givaren måste vinklas ner mot stråbasen från sidan för att erhålla ett avstånd större än 30 cm alternativt riktas framåt/bakåt mellan raderna.

I första fallet blir det då troligen svårt att undvika mätning ovanpå grödan och i det senare blir avståndsmätningen mycket känslig för den vinkel redskapet intar mot raden. Kunde däremot avståndsmätningen göras vinkelrätt mot grödan skulle en del fördelar uppnås. Så kallade mikrovågor, i princip radar, skulle kunna erbjuda denna möjlighet. Inga försök med avkänning med

hjälp av mikrovågor har dock funnits under studier av litteraturen på området. Även om ett sådant system skulle fungera så är mikrovågssändare och mottagare relativt dyra och svårigheten att avkänna grödan tidigt kvarstår.

Den andra huvudmetoden innefattar styrning med hjälp av fasta installationer på fältet, t ex kabelstyrning.

Kabelstyrning som den är beskriven i litteraturen är den metod som ger högst precision av de redovisade. Denna metod skulle troligen gå att applicera på radrensning med gott resultat. Metoden är enkel, tekniskt tillförlitlig och oberoende av grödans utvecklingsstadium. Det som talar mot metoden är främst den höga kostnaden som är förenad med inköp och nedgrävning av kablar.

Möjligen kan problem med kabelstyrning uppstå då sådd, av lätt insedda skäl, måste göras med samma system. Det innebär att avvikelser från rätt kurs måste ha samma storlek och riktning, både vid sådd och efterföljande radrensning. I annat fall kommer avvikelserna att adderas och felet kan bli stort. Kabeln som definierar kursen måste också grävas ner till frostfritt djup för att den ej skall röra på sig. Noggrannheten i avkänning minskar också med ökat djup (Pichon och Steinbreugge, 1965).

Den höga kostnaden är troligen det som gör att ovannämnda system inte är realistiskt att använda, annat än för speciella tillämpningar. Räckte det däremot med bara en kabel som flyttas före varje nytt kördrag skulle kostnaden inte bli så hög, (denna metod omnämns inledningsvis under rubriken kabelstyrning). Här uppstår dock troligen ett problem likartat det vid spårstyrning, d v s ett från början litet fel blir större och större.

Andra huvudmetoden innefattar också permanenta installationer som vinschar redskapen över fältet. Även styrning efter fast ljusstråle, t ex laser, ingår. Detta är dock dyra metoder eftersom någon form av räls i båda fallen måste byggas upp vid fältkanterna.

Avslutningsvis kan sägas att alla system, som bygger på fasta installationer, har den fördelen att permanenta körspår kan realiseras. Fördel på grund av att jorden inte packas över hela fältet. Det ligger dock utanför ramen för detta arbete att bedöma vinsten/nyttan med detta.

Den tredje huvudmetoden, styrning med hjälp av fixpunkter, har använts vid försök till förarlösa traktorer.

En fördel med den här typen av system är att de är generella. De är automatiskt anpassade till alla typer av grödor och arbeten. Nackdelen med systemen är att de i sin nuvarande

utvecklingsfas har för dålig precision för radrensning i stråsäd.

Det är dessutom mycket dyra system då höga krav ställs på utrustningen för avståndsmätning.

Tröghetsstyrning har i princip samma för och nackdelar som styrning efter fixpunkter. Tröghetsstyrning är dock enklare uppbyggd och bör bli billigare att installera.

Digital bildbehandling för styrning har fördelen att den i likhet med ovanstående metod är generell. Metoden har även den likheten med föregående att den har "förmåga att se framåt". Detta gör, som nämnts tidigare, att fordonet får en stabilare gång. Svårigheten med metoden är att registrera raden då plantorna genom sin höjd och ökade bladmassa böjer sig och därmed gör radgränserna diffusa. Avkänning av raderna i ett tidigt skede i grödans utveckling är dock troligen fullt möjlig.

Kostnaden för en utrustning för digital bildanalys, för styrningsändamål, är hög. Detta beror bl a på att en kraftfull dator krävs för att tillräckligt snabbt utvärdera fordonets position i förhållande till raden. Mycket händer dock inom detta område varför det är sannolikt att kraftfulla system till låg kostnad kommer att finnas tillgängliga om några år.

Slutsatser

De slutsatser som dras är att ingen av de beskrivna metoderna i sina nuvarande utföranden ger en, för radrensning, tillfredsställande precision. Möjligen med undantag för kabelstyrning. Återstår att utveckla någon ny metod för styrning som kan göras billigare än kabelstyrning. Frågan inställer sig då vilken huvudmetod som skall väljas.

Det är dock rimligt att anta, för att erhålla tillräckligt hög precision, måste raden i sig avkännas. Det lämnar två alternativa metoder att välja på. Antingen avkänning med hjälp av ultraljud, mikrovågor, optik eller liknande sätt. Den andra metoden för avkänning som återstår är direkt mekanisk avkänning av plantraden. Sådana mekaniska system finns i litteraturen bara beskrivna för avkänning av majsplantor som är betydligt kraftigare, och därmed lättare att avkänna, än spannmålsplantor.

Efter samråd med forskare på mekanisk ogräsbekämpning framkom att ogräsbekämpning med radhacka vid plantans 6-bladsstadium (Rydberg, 1989) skulle ge ett godtagbart resultat. Då har även grödan fått en sådan stadga att mekanisk avkänning borde vara fullt möjlig.

Att god effekt mot ogräs skulle uppnås med hackning i stråsädens 6-bladsstadium är givetvis ett grovt mått som beror på årsmån o s v, det ger dock en indikation på att mekanisk avkänning skulle vara ett realistiskt alternativ.

Det beslutades därför att någon typ av mekanisk avkännare skulle konstrueras. Detta eftersom en sådan troligen har ett relativt långt intervall inom vilket avkänning av grödan kan göras. Med t ex bildbehandling hade en begränsning till enbart de tidigare utvecklingsstadierna hos gagnväxten gjorts.

SIMULERINGS- OCH REGULATORMODELL

Nedan beskrivs den modell som framtagits för att prova om styrning av radrensare med hjälp av fordon var möjlig.

Allmänt

För att simulera systemet fordon/redskap samt ta fram en lämplig regulator krävs en matematisk modell av systemet. Denna modell skall beskriva sambandet mellan insignal (styrhjulsvinkel) och utsignal (redskapets position i raden).

Med fordon/redskap avses i rapporten i första hand en lantbrukstraktor med fast monterad radrensare. Beräkningarna som följer är dock generella och därmed giltiga för alla fordon med geometri enligt nedanstående figur 16. Det faktum att just en radhacka används som redskap påverkar inte heller resultatet, varför beteckningen - fordon/redskap- valts. Fig 16 visar den styrgeometri som använts för att ta fram in- och utsignalsambandet.

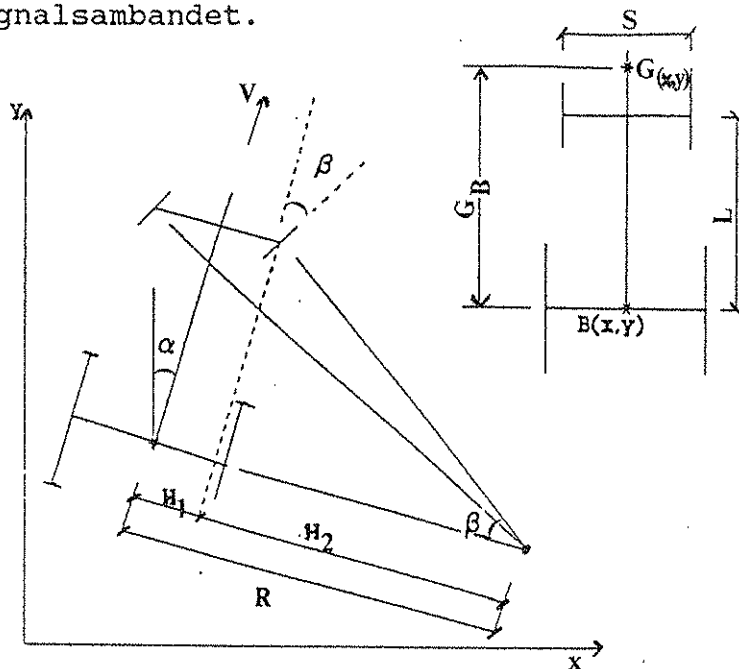


Fig 16. Styrgeometri för matematisk modell.

V	fordonets framföringshastighet
R	fordonets vändradie
H_1, H_2	hjälpsträckor
$B(x, y)$	bakaxelns mittpunkt globalt i x- och y-led
L, Y	fordonets hjulbas
S	fordonets spårvidd fram
G_B	givarens position i förhållande till B
$G_{x, y}$	givarens globala position i x- och y-led
α	fordonets attitydvinkel gentemot y-axeln
β	styrhjulens vinkel gentemot fordonets längdaxel

I modellen antas Ackermans ideala styrgeometri gälla. Detta innebär att de mot styrhjulen vinkelräta linjerna sammanfaller i en punkt. Detta gör att vändradien R blir entydigt bestämd av antingen höger eller vänster styrvinkel, se figur 16. I simuleringsmodellen har den inre hjulvinkeln vid sväng valts för att beräkna R .

Med ledning av figur 16 erhålls sedan:

$$R = H_1 + H_2 \quad \text{där} \quad (1)$$

$$H_1 = \frac{S}{2} \quad \text{och} \quad H_2 = \frac{L}{\tan \beta}$$

$$R = \frac{S}{2} + \frac{L}{\tan \beta} = \frac{2L + S \tan \beta}{2 \tan \beta} \quad (2)$$

Förändringen i attityden α blir:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{V}{R} = \frac{2V \tan \beta}{2L + S \tan \beta} \quad (3)$$

Förändringen i punkten B:s läge i x- och y-led blir:

$$\frac{d}{dt} B_x = V \sin \alpha \quad (4a)$$

$$\frac{d}{dt} B_y = V \cos \alpha \quad (4b)$$

Dessa 3 ekvationer, 3-4b, är de grundläggande för att bestämma fordonets d v s punkten B:s globala position i x- och y-led.

Vad som ytterligare krävs är att utgångspunkten, $B(x_0, y_0)$, samt utgångsvinkeln α , är givna och att fordonets geometri samt framföringshastighet är kända. Om alla dessa data är kända ges sedan fordonets position av att styrhjulvinkelns variation med tiden kontinuerligt registreras. Utifrån punkten B:s position samt attitydvinkeln α , kan sedan samtliga positioner på fordonet beräknas med elementär geometri.

Med ovanstående som utgångspunkt har en regulator beräknats och en simuleringsmodell tagits fram.

Regulatorberäkning

För att beräkna en regulator krävs med den gängse använda reglerteorin en linjäriserad modell. Det innebär rent konkret i det här fallet att följande approximationer antas gälla, se figur 16:

$$\begin{aligned}\tan \beta &\approx \beta \\ \cos \alpha &\approx 1 \\ \sin \alpha &\approx \alpha\end{aligned}$$

För att förenkla beräkningarna antas fordonet styras genom att hela framaxeln vrids kring sin upphängningspunkt s_k vagnstyrning. Denna förenkling medför endast att vändradien R minskas med halva framaxelns bredd, H_1 i figur 16. Använda approximationer är godtagbara så länge som styrvinklarna är små och attitydvinkeln mot den referenslinje fordonet antas följa är liten.

Vi utgår sedan från de framtagna ekvationerna 3-4b samt figur 16.

Det allmänna uttrycket för redskapets och givarens läge i x -led blir: (Det antas att monteringen av givaren sker så att den sammanfaller med redskapets position i x - och y -led.)

$$G_x = B_x + G_B \sin \alpha \quad (5)$$

Om modellen nu linjäriseras skrivs ekvation (3) efter den förenkling som gjorts för att underlätta beräkningen:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{V}{L} \beta \quad (6)$$

När ekvation (6) Laplace-transformeras erhålls:

$$\alpha = \frac{V}{L} \frac{1}{s} \beta \quad (7)$$

Ekvationerna (4a,b) blir linjäriserade:

$$\frac{d}{dt} B_x = V \alpha \quad (8a)$$

$$\frac{d}{dt} B_y = V \quad (8b)$$

När ekvation (8a) Laplace-transformeras fås för punkten B:s x-position:

$$B_x = \frac{V}{s} \alpha \quad (9)$$

Ekvation (5) blir linjäriserad:

$$G_x = B_x + G_B \alpha \quad (10)$$

Om man nu sätter in ekvation (7) i (9) erhålls:

$$B_x = \frac{V}{s} \frac{V}{L} \frac{1}{s} \beta = \frac{V^2}{L} \frac{1}{s^2} \beta \quad (11)$$

Ekvation (7) och (11) i (10) ger efter förenkling:

$$G_x = \frac{V^2/L + G_B V s/L}{s^2} \beta \quad (12)$$

Överföringsfunktionen (12) har nollstället, d v s täljaruttrycket satt = 0.

$$\frac{G_B V s}{L} + \frac{V^2}{L} = 0 \quad \Rightarrow \quad (13)$$

$$s = - \frac{V}{G_B} \quad (14)$$

Av ekvation (12) framgår att modellen är en s k dubbelintegrator om $G_B = 0$. Detta innebär att en fasavancerad regulator måste realisera för att få systemet stabilt. Detta kan uppnås med en proportionell deriverande s k PD-regulator. Emellertid ingår en deriverande term i överföringsfunktion (12) (s i täljaren) så länge som $G_B > 0$ vilket ersätter en deriverande term i regulatorn.

Med andra ord, om redskapet och givaren placeras framför bakaxeln räcker det med en proportionell regulator. Detta är en fördel då derivering av mätsignaler ofta medför svårigheter p g a störningar hos signalen.

Placeras redskap och givare bakom bakaxeln erhålls ett s k icke-minimumfassystem. Detta framgår av ekvation (14). Om G_B sätts negativt i (14), d v s redskap och givare bakom bakaxeln, erhålls ett positivt värde på s. Detta tolkas som att systemet är av icke-minimumfastyp med givare och redskap i detta läge. Detta får som konsekvens att regleringen av redskapet sker åt fel håll i början vilket gör systemet svårreglerat utan att tillgripa speciella metoder. En placering av redskapet framför bakaxeln är också att föredra för att föraren skall ha möjlighet till en god uppsikt över redskapet.

Blockschemat för proportionell reglering av fordonet blir då:

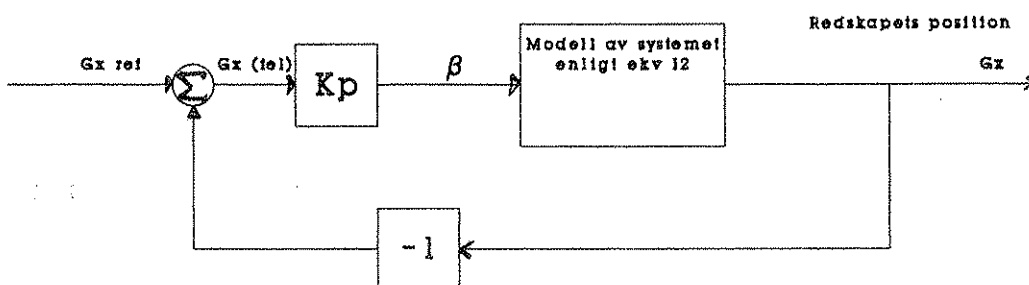


Fig 17. Det reglerade systemets blockschema.

Detta innebär att insignalen β till regulatorn är skillnaden mellan givarens optimala läge (mitt i raden) och den aktuella avvikelsen från detta läge. Denna differens kan sedan förstärkas till lämplig nivå med den varierbara förstärkningsfaktorn K_p .

Det reglerade systemets överföringsfunktion enligt figur (17) kan sedan skrivas efter det att följande förenklingar av ekvation (12) gjorts.

$$\frac{G_B V}{L} s = a s \quad \text{och} \quad \frac{V^2}{L} = b$$

Det reglerade systemets överföringsfunktion blir således:

$$G_x = \frac{K_p a s + K_p b}{s^2 + K_p a s + K_p b} G_x \text{ ref} \quad (15)$$

Karaktäristiska ekvationen $d v s$ nämnaruttrycket i ekvation (15) är av 2:a ordningen. Ett sådant uttryck brukar på standardform skrivas:

$$s^2 + 2\zeta\omega + \omega^2 = 0 \quad (16)$$

Där ζ motsvarar den s k relativa dämpningen och ω anger hur insvängningsförloppet kommer att se ut.

Om $\zeta = 1$ erhålls ett exponentiellt avklingande insvängningsförlopp.

Om $\zeta = 0$ erhålls en stående självsvängning med systemets egenfrekvens

Om $\zeta < 0$ erhålls ett instabilt insvängningsförlopp

För att ta reda på vad som påverkar den relativa dämpningen och egenfrekvensen i vårt system sätter vi in nämnaruttrycket i (15) i (16) samtidigt som vi ersätter a och b . Därefter identifierar vi termerna.

$$s^2 + \frac{K_p G_B V}{L} s + \frac{K_p V^2}{L}$$

$2\zeta\omega \qquad \omega^2$

Detta ger att:

$$\omega = V \sqrt{\frac{K_p}{L}} \quad (17)$$

$$\zeta = \frac{G_B}{2} \sqrt{\frac{K_p}{L}} \quad (18)$$

Den tolkning som görs av ekvation (17) och (18) är:

1. ω skalas av V
- ζ är oberoende av V

2. $G_B = 0 \Rightarrow \zeta = 0$
 $G_B < 0 \Rightarrow \zeta < 0$ vilket ger ett instabilt system
 $G_B > 0 \Rightarrow \zeta > 0$ vilket ger ett stabilt system

Om man nu väljer att sätta $\zeta = 1$ får man ett lugnt insvängningsförlopp på radrensaren:

$$\zeta = 1 \Rightarrow K_p = \frac{4L}{G_B^2} \quad (19)$$

vilket medför att:

$$\omega = v \frac{2}{G_B} \quad (20)$$

Den ovan uträknade regulatorn har använts både i simuleringsexperiment och vid praktiska experiment i fält.

Simuleringsmodell

Allmänt

Syftet med simuleringen var som nämnts tidigare att utröna om styrning av redskapet enbart med hjälp av ett fordon var möjlig med avseende på den precision som erfordras, ca ± 2.5 cm.

Simuleringsmodellen användes även för att uttesta den regulator som beräknats för ändamålet, var redskap och givare bäst skulle placeras för optimal funktion samt vilka parametrar i allmänhet som är av vikt för att uppnå en hög noggrannhet.

Systemet provades sedan genom att en s k rampfunktion lades in i simuleringsprogrammet. Denna ramp kan varieras i x- och y-led. Vid simuleringarna har rampens längd, x, satts till 1 m och höjden, y, till 0.1 m. Kraftigare förändringar än så av en naturlig "rakt sådd" sårad är inte realistisk att anta. Det var sedan lätt att analysera systemets prestanda vid olika hastigheter, regulatorställningar samt placering av redskap/givare.

Simuleringen av systemet gjordes i ett renodlat simuleringsspråk SIMNON (se Elmqvist lit. ref), som står för SIMulation of NONlinear systems, och är ett kommandostyrt simuleringsspråk utvecklat vid Lunds Tekniska Högskola, LTH. Vid programmering utgår man från ett system av första ordningens

differentialekvationer. Utmatning av resultat sker sedan i grafisk form vilket underlättar analysen.

Modellen består av enskilda system som sedan kopplats samman. Innan de olika delsystemen konstruerades begränsades modellen till att gälla under följande villkor/antaganden:

- bakhjulsdrivet fordon med fyra hjul, styrt på framaxeln
- redskap och givare fast monterade efter traktorns längdaxel
- idealiserat fäste för styrhjulen, ingen sk skidding (det att framhjulen "plogar vid sväng")
- tröghetskrafterna försumbara för de hastigheter som använts vid simuleringarna.

Dessa villkor får anses realistiska om ett fordon med normal vikt och belastning på framaxeln används samt om styrutslagen är små. Det är inte möjligt att på ett godtagbart sätt ta med alla faktorer som kan tänkas inverka på systemet. Man kan inte heller säga att modellens utdata skulle bli så mycket mer värdefulla, att det motiverar att arbete läggs ner på att "exakt" försöka efterlikna det verkliga systemet. Man bör dock när man studerar resultaten ha i minne att det är fråga om en modell med dess styrka och svagheter.

Nedan följer de väsentligaste delmodellernas uppbyggnad. Simuleringsprogrammet i sin helhet återfinns i bilaga (2).

Fordonets rörelse

Modellen av fordonets rörelse baseras helt på de tidigare framtagna ekvationerna (3-4b). Detta innebär att den förenkling vad avser fordonets styrning som infördes vid regulatorberäkningen inte finns med i denna modell.

Givarmodell

Givaren i modellen $d v s$ den enhet som skall avkänna var raden befinner sig i förhållande till fordon/redskap är inte preciserad, utan antas vara någon givare som på något sätt mäter avståndet till raden. För att efterlikna den osäkerhet som finns vid lägesbestämningen har en slumpmässig signal adderats till det avstånd givaren mäter upp till raden från fordon/redskap. En slumpgenerator finns tillgänglig i programmet. Utsignalen från denna är vitt brus som är normalfördelat. I simuleringsförsöken slumpas 20 värden per sekund ut med en standardavvikelse på 1 cm. Avståndet till referenslinjen (såraden) mäts 20 ggr/s. Givarens position i förhållande till referensraden bestäms utifån punkten $B(x, y)$ samt elementär geometri.

Beskrivning av sårad

Som sårad har en referenslinje i form av en konstant lagts in i programmet. Denna varierar inte utan den naturliga spridningen i såraden simuleras i givarmodellen enligt ovan. Detta har gjorts för att få en mer lättöverskådlig resultatpresentation. I annat fall hade både sårad och redskapets position på utskriften varierat, något som hade försvårat analysen.

Regulatoremodell

Regulatorn är den som beräknats tidigare d v s en enkel proportionell regulator. Utstorheten från regulatorn är den vinkel som styrhjulen bör inta för att erhålla en god reglering av systemet. Den önskade hjulvinkeln verkställs sedan med en i programmet varierbar omställningshastighet. Vid simuleringarna har använts en omställningshastighet på hjulen av 0.2 rad/s där annat ej anges.

I regulatoremodellen finns även ett s k dödband på ± 1 cm inlagt. Det innebär att när styrhjulen ändrat sin inställning, för att styra fordon/redskap rätt, och sedan stannat, krävs att positionen på ekipaget ändras med ± 1 cm innan ny styrsignal ställs ut. Dödbandet har lagts in för att det i praktiken sliter mycket på ställdonen om dessa får gå oavbrutet, vilket blir följderna om inget dödband definieras.

Validering

Som nämnts tidigare är det svårt att avgöra om en modell ger en tillräckligt bra beskrivning av det studerade systemet eller ej. Man får i många fall nöja sig med att det är troligt att modellens utdata stämmer tillräckligt väl för det den är avsedd att studera. Ett prov kunde emellertid göras i det här fallet.

En "verklig" traktor kördes med konstant hjulutslag och vändradien mättes. Sedan användes geometriska data från traktorn och en simulering gjordes med samma hastighet och hjulutslag.

Resultaten från de praktiska uppmätta försöken visar att traktorn med 0.6 rad styrutslag hade en vändradie på 4.03 m. Vid simuleringen blev vändradien 3.99 m. Så långt är alltså modellens överensstämmelse med det verkliga systemets god. För övrigt kan man bara konstatera att modellens allmänna uppförande verkar rimligt.

Simuleringsresultat

För att presentera resultaten har två olika redovisningsalternativ valts, dessa visar:

- B1; Redskapets position vid störning i form av den i x- och y-led ställbara rampen. Intervallet 5-20 och 0-60 m har valts. Detta för att få en uppförstoring av det intressanta läget samt säkert veta att systemet har stabiliserat sig.
- B2; Redskapets samt vänster fram- och bakhjuls positioner. Även såraderans positioner har lagts in. Intervall 5-20 m.

Vid simuleringarna har geometriska data från en lantbrukstraktor i storleksklassen 50 kW valts. Alla geometriska parametrar kan dock enkelt ändras vid simuleringarna. Nedan följer en lista över vilka parametrar som kan ändras. Efter några av parametrarna står de värden som använts vid simuleringarna, värdet på de övriga anges i anslutning till figurerna.

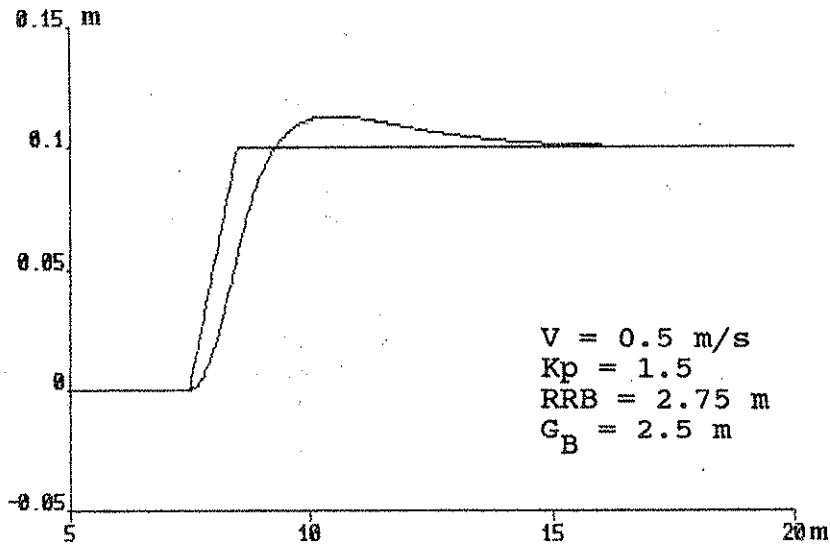
K _p	proportionell förstärkningsfaktor
V	framföringshastigheten (m/s)
RRB	redskapets position i förhållande till punkten B (m)
G _B	givarens position i förhållande till punkten B (m)
L	längd traktor hjulbas (2.25 m)
S	längd traktor spårvidd fram (1.5 m)
R _x	rampens längd i x-led (1.0 m)
R _y	rampens höjd i y-led (0.1 m)
O _r	styrhjulets omställningshastighet (rad/s)

Värdet på den proportionella förstärkningsfaktorn K_p som anges för varje simulering är inte ett entydigt bestämt mått. Regulatorn är proportionell, d v s styrutslaget skall vara proportionellt mot det avstånd till raden givaren mäter upp. I det första fallet är dock enheten ett vinkelmått (rad) och i det andra fallet ett längdmått (m).

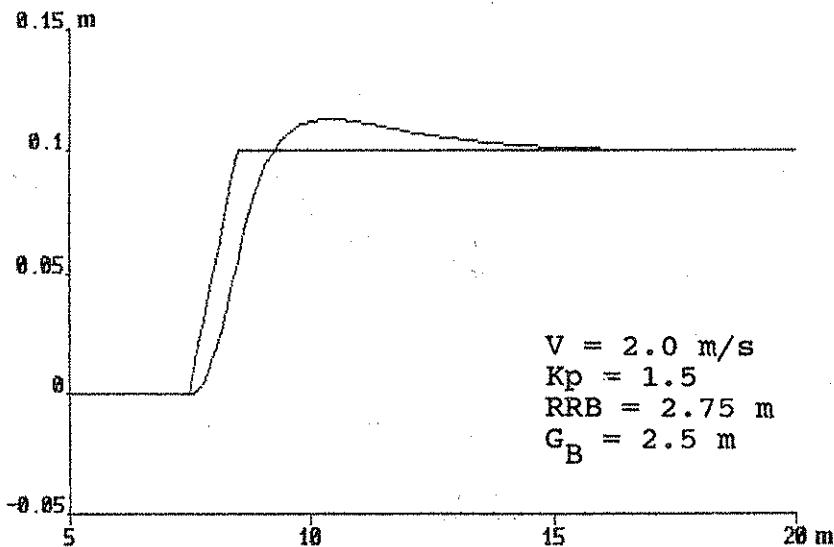
I simuleringsprogrammet har K_p relaterats på så sätt att 0.1 m positionsfel skall resultera i 0.1 rad styrutslag om K_p = 1.

Den första simuleringen återknyter till avsnittet om regulatorberäkningen för att se om de resultat som erhöles där kan bekräftas i simuleringsmodellen.

Figur 18 och 19 visar redskapets uppträdande vid 0.5 respektive 2.0 m/s med K_p beräknat enligt ekvation (19).



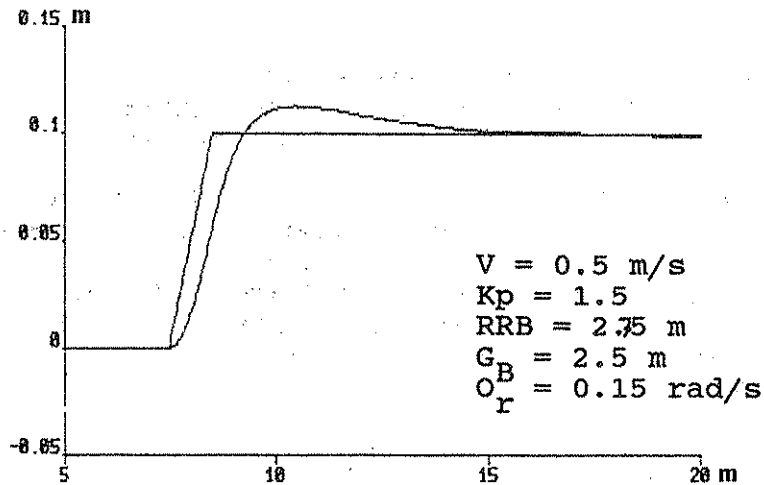
Figur 18. Insvängningsförlopp med radrensaren monterad 0.5 m framför framaxeln ($RRB = 2.75 \text{ m}$) och givaren 0.25 m framför framaxeln ($G_B = 2.5 \text{ m}$).



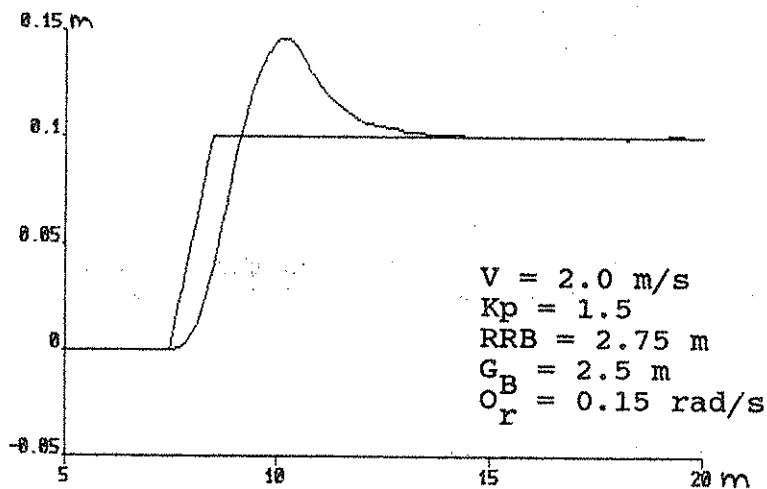
Figur 19. Insvängningsförlopp med radrensaren monterad 0.5 m framför framaxeln, men nu vid 2.0 m/s.

Av figurerna 18 och 19 framgår att insvängningsförloppet är oberoende av framföringshastigheten V . Denna simulering har dock gjorts med den linjäriserade modellen enligt ekvationerna (7-8b).

I figurerna 20 och 21 visas resultaten från en simulering, som gjorts med den olinjära modellen enligt ekvationerna (3-4b).



Figur 20. Insvängningsförlopp med redskapet monterat 0.5 m framför framaxeln, olinjära modellen enligt ekvationerna (3-4b).



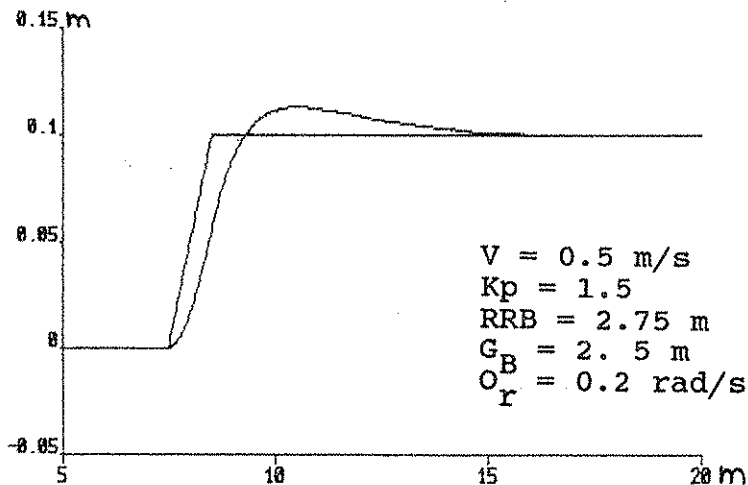
Figur 21. Insvängningsförlopp med redskapet monterat 0.5 m framför framaxeln, olinjära modellen enligt ekvationerna (3-4b).

Av figurerna 20 och 21 framgår att olika resultat erhålls med samma parameteruppsättning undantaget hastigheten. Detta beror på att styrhjulsdynamiken finns med i den olinjära modellen. Med styrhjulsdynamik förstås i det här fallet styrhjulens omställningshastighet. Denna går att variera i den olinjära modellen som nu används i fortsättningen.

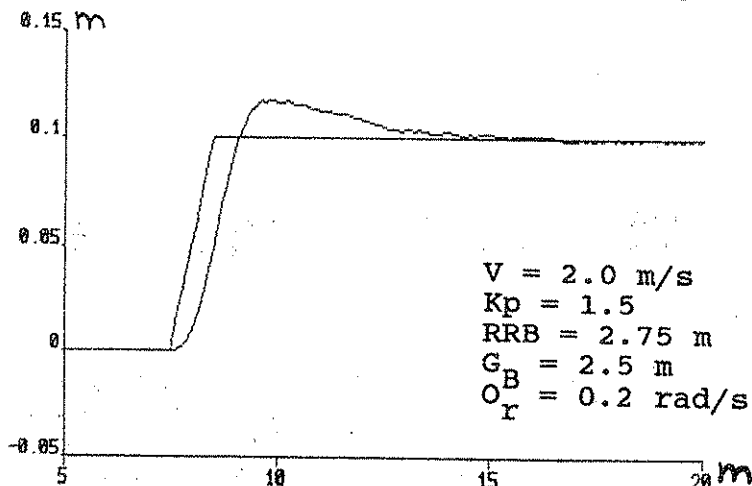
Skillnaden mellan figurerna 18, 19 och 20, 21 är att i första fallet ställdes styrhjulen om momentant. I andra fallet kunde styrhjulems omställningshastighet väljas godtyckligt. I figurerna 20 och 21 var hjulems omställningshastighet $O_r = 0.15$ rad/s.

Ett intressant prov är att se vilken omställningshastighet av styrhjulen som krävs för att analysen, som ledde fram till ekvation (18) skall gälla även för den olinjära modellen.

Efter att ha provat några olika värden framkom att 0.2 rad/s omställningshastighet av hjulen var den lägsta som krävdes med samma parameteruppsättning som använts tidigare. Figurerna 22 och 23 visar detta resultat. Det skall tilläggas att för att den linjära analysen skall gälla även vid andra placeringar av redskap och givare fordras andra omställningshastigheter av hjulen. Detta resonemang återkommer senare.

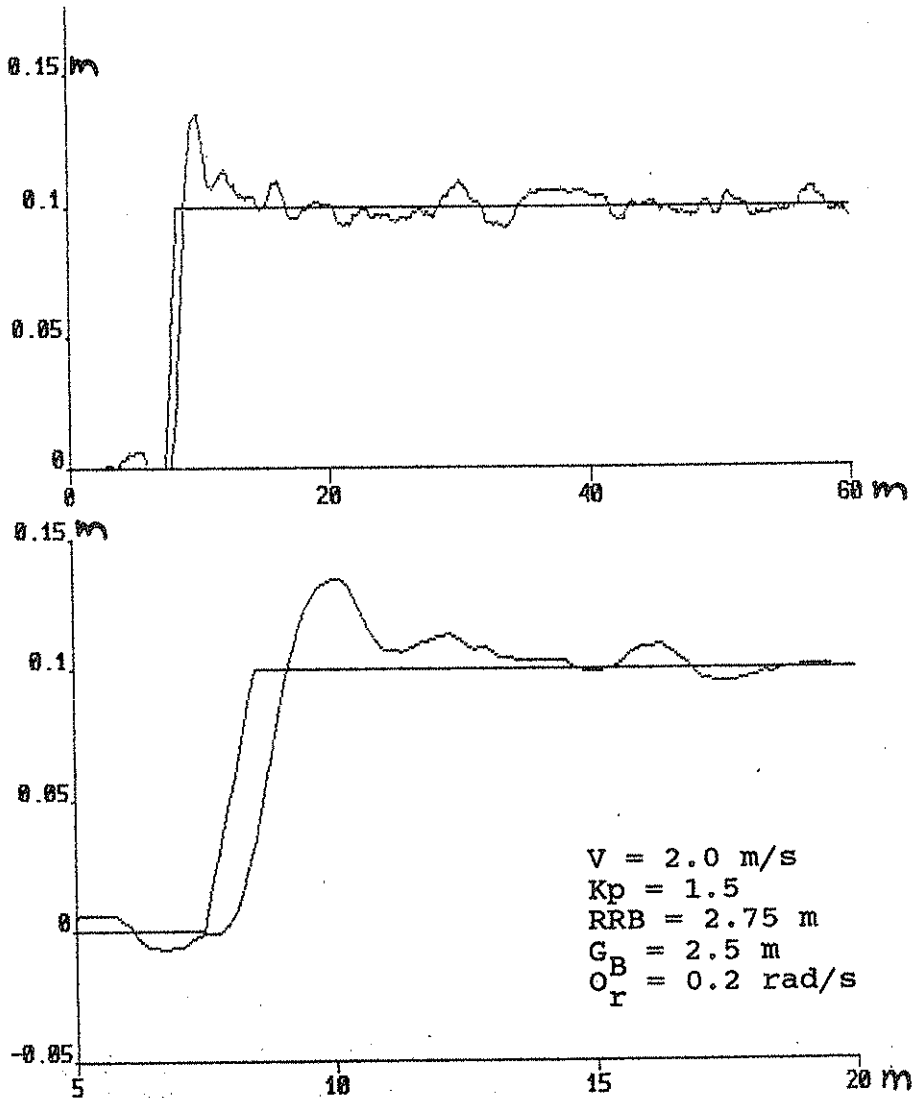


Figur 22. Insvängningsförlopp vid 0.5 m/s med den olinjära modellen. Styrhjulems omställningshastighet 0.2 rad/s.

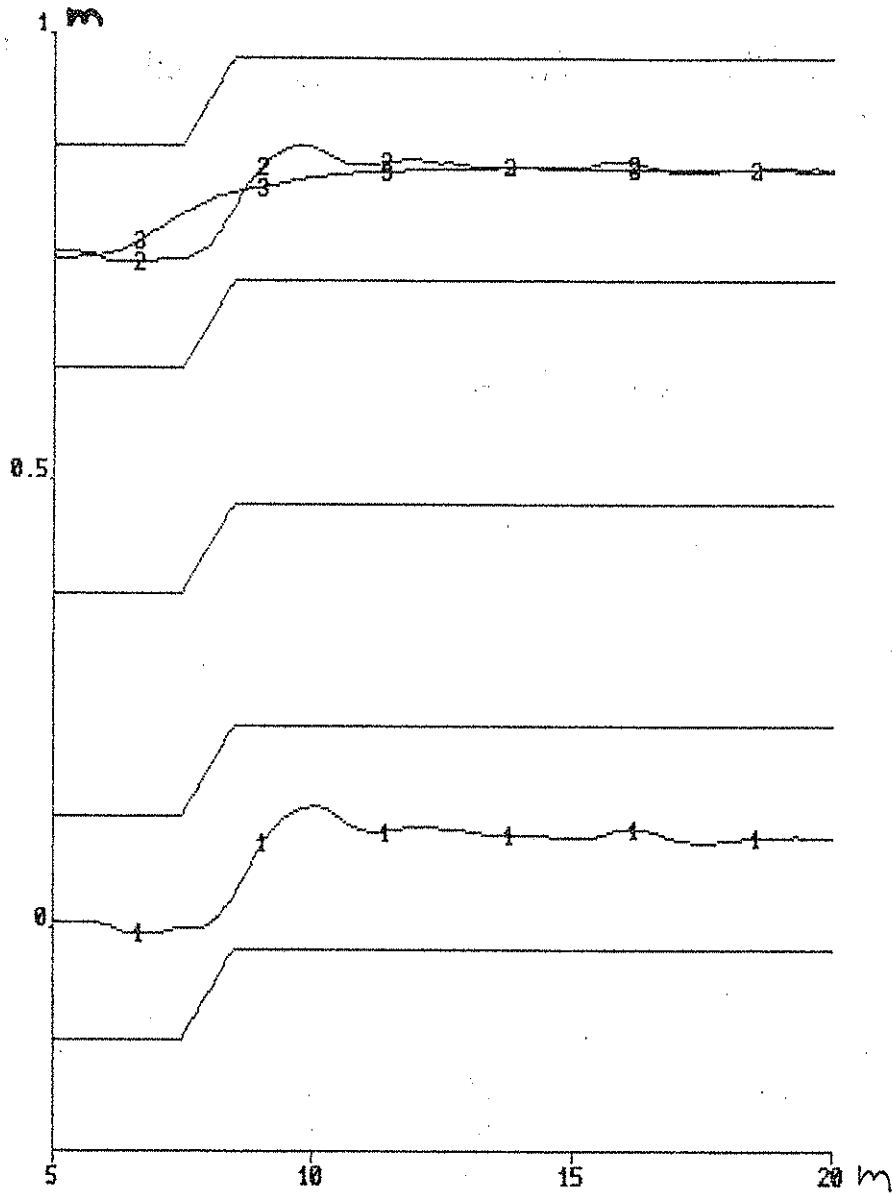


Figur 23. Insvängningsförlopp vid 2.0 m/s med den olinjära modellen. Styrhjulems omställningshastighet 0.2 rad/s.

Figur 24 (alt B1) visar en simulering där dödbandet på ± 1 cm lagts in och den slumpmässiga signalen, se givarmodell, adderats till det avstånd givaren mäter upp.

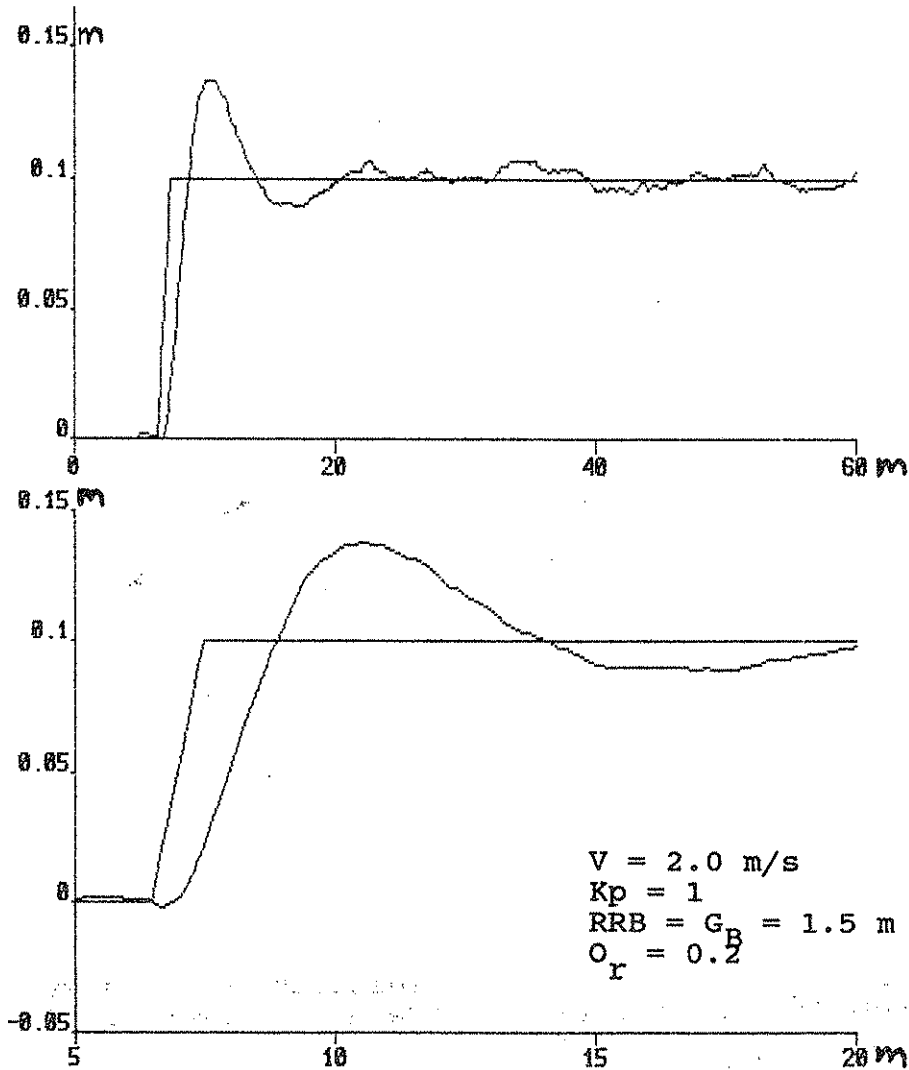


Figur 24 (alt B1). Simuleringsresultatet med dödband inlagt visar att under någon meter befinner sig redskapet utanför den uppsatta toleransnivån på ± 2.5 cm. Störningen, rampens lutning, får dock anses som kraftig varför resultatet är tillfredsställande.

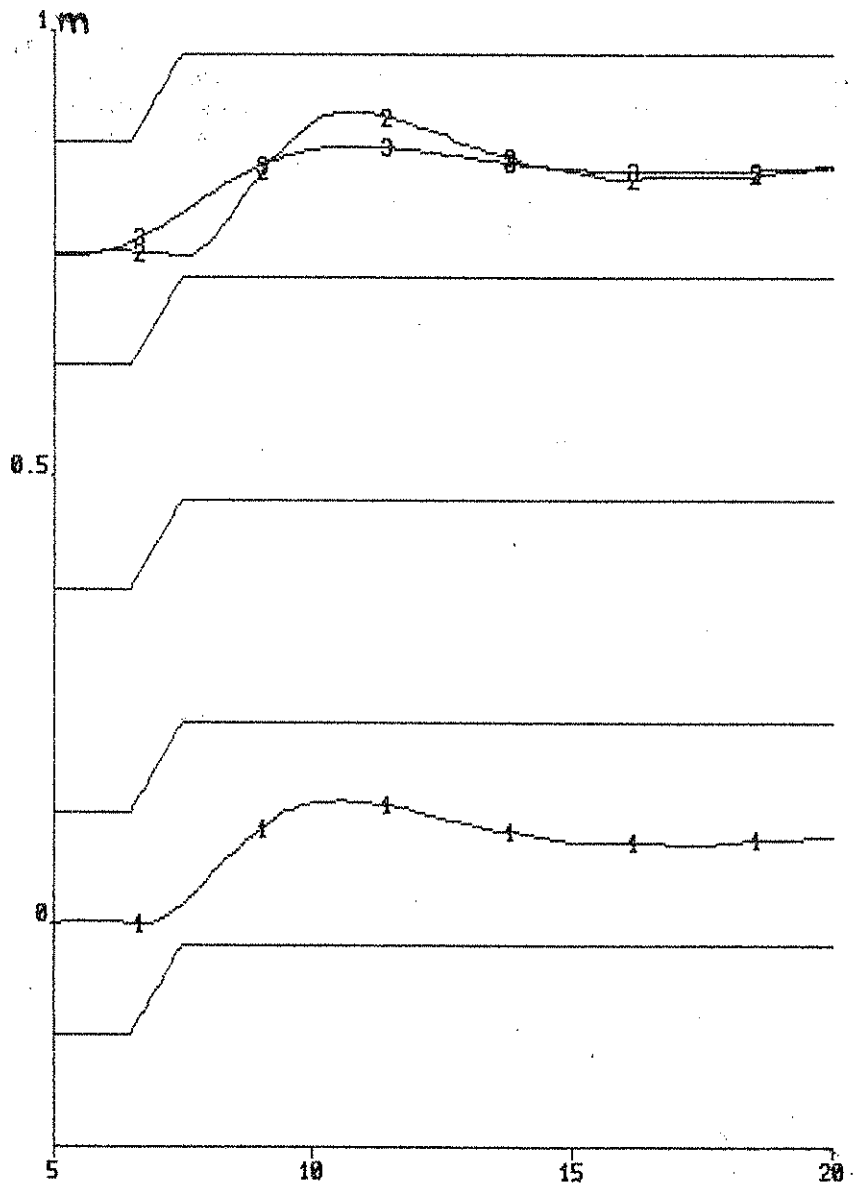


Figur 24 (alt B2). Översiktsbild över redskapets samt vänster fram- och bakhjuls positioner mellan raderna. 1. redskap, 2. vänster framhjul, 3. vänster bakhjul.

Figur 25 (alt B1) visar en simulering där redskap och givare placerats mellan fordonets axlar. Här har inte den förstärkning K_p som ges av ekvation (19) använts. Används förstärkning enligt ekvation (19) blir överslängen betydligt större och systemet oscillerar långsamt in mot sitt nya läge. För att få systemet stabilare vid den högre förstärkningen krävs att styrhjulens omställningshastighet ökas.

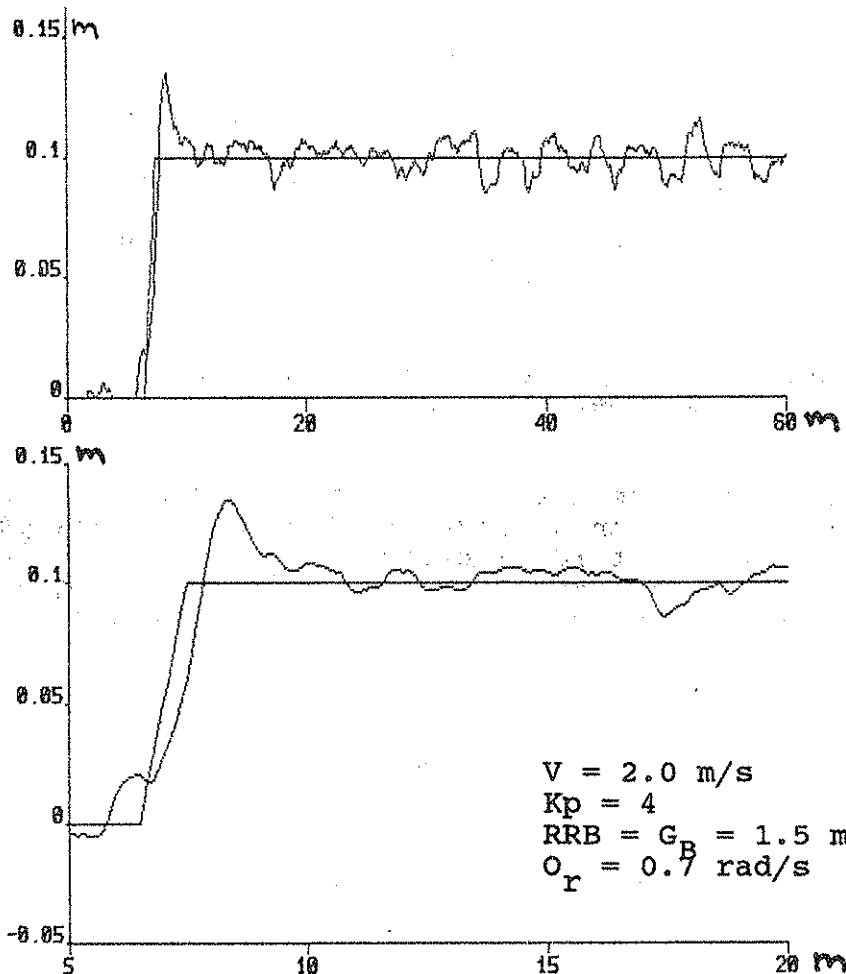


Figur 25 (alt B1). Simulering med givare och redskap placerade 0.75 m bakom framaxeln.



Figur 25 (alt B2). Översiktsbild över redskapets samt vänster fram- och bakhjuls positioner mellan raderna. 1. redskap, 2. vänster framhjul, 3. vänster bakhjul.

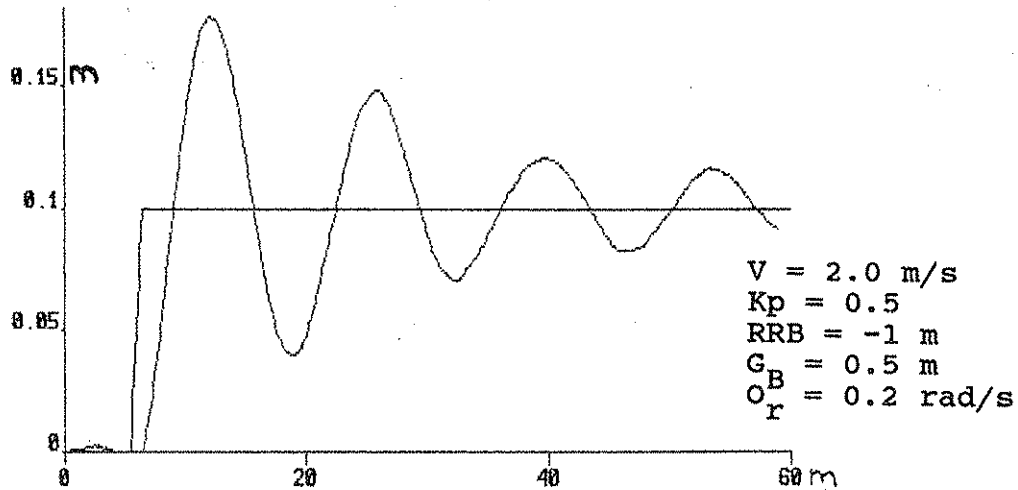
Figur 26 (alt B1) visar en simulering med samma parameteruppsättning som för figur 25 (alt B1). I denna simulering har emellertid K_p beräknats enligt ekvation (19). För att få detta system stabilt krävdes en minsta omställningshastighet på hjulen av 0.7 rad/s. Man ser att systemet blir något snabbare jämfört med figur 25 (alt B1). Denna vinst är dock av mindre betydelse jämfört med den bättre noggrannhet som uppnås med den lägre förstärkningen enligt figur 25 (alt B1).



Figur 26 (alt B1). Simulering med redskapet placerat 0.75 m bakom framaxeln. K_p beräknat enligt ekvation (19). En omställningshastighet av 0.7 rad/s krävs för att få ett acceptabelt system.

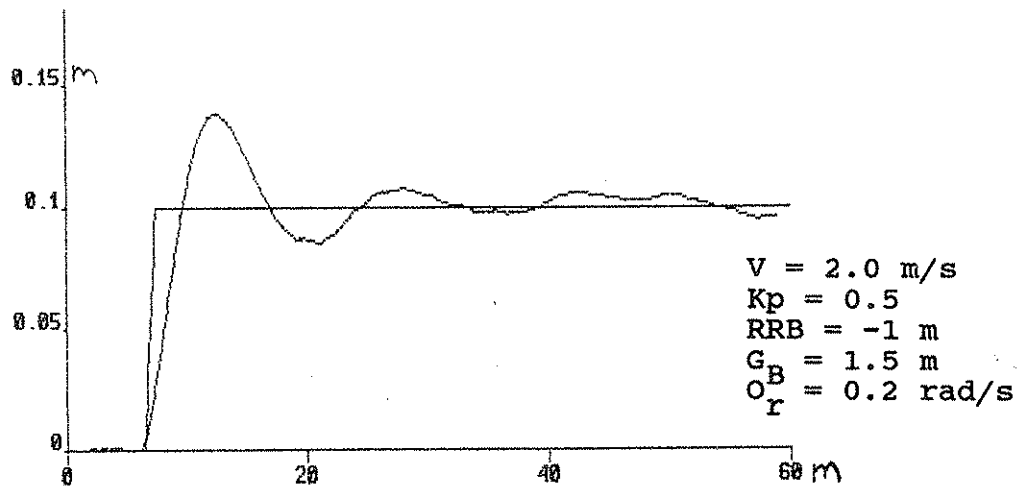
Att använda en så hög omställningshastighet på styrhjulen som 0.7 rad/s är orealistiskt. Troligen kan styrhjulen fås att ställa om så snabbt. Emellertid lär fordonet inte reagera i full utsträckning på dessa snabba förändringar. I modellen tas ingen hänsyn till att fordonets styrhjul "plogar" eller övrig dynamik hos däcken vid sväng.

Figurerna 27 och 28 visar slutligen vad som händer om redskapet placeras bakom bakaxeln (RRB negativt). I figur 27 har givaren placerats 0.5 m framför bakaxeln och K_p satts så lågt som 0.5 för att överhuvudtaget få systemet stabilt.



Figur 27. Insvängningsförlopp med givaren placerad 0.5 m framför bakaxeln och redskapet 1.0 m bakom bakaxeln.

I figur 28 har givaren placerats 1.5 m framför bakaxeln. Detta ger ett fungerande system men är ändå otillfredsställande på grund av det stora avståndet redskap/givare. Resultatet blir att onödigt mycket av grödan körs ner och att redskap p g a att det styrs för tidigt och dessutom åt fel håll, kör upp gröda.



Figur 28. Insvängningsförlopp med givaren placerad 1.5 m framför bakaxeln och redskapet 1.0 m bakom bakaxeln.

Slutsatser från simuleringarna

Enligt de resultat som visats från simuleringarna verkar styrning av redskapet enbart med hjälp av fordonet vara fullt möjlig.

En placering av redskapet framför eller i närheten av framaxeln verkar vara den som bäst uppfyller precisionskravet samt kravet på dynamiska egenskaper hos systemet. Detta beror på att förstärkningen kan sättas lågt, något som gör systemet stabilt men ändå tillräckligt snabbt för att korrigera störningar. Omställningshastigheten av styrhjulen blir med redskapet monterat framför framaxeln på fordonet inte heller avgörande för den noggrannhet som kan uppnås.

Vad gäller fordonets geometri har ändring av denna, inom rimliga gränser, inte visat sig ha någon betydande inverkan på resultaten. En relativt kort hjulbas är dock troligen att föredra eftersom fram- och bakhjul då spårar väl, och därmed kör ner mindre del gröda.

FRAMTAGANDET AV FÖRSÖKSMASKIN

Försöksmaskin

För att pröva om det i praktiken var möjligt att styra en radrensare automatiskt enbart med hjälp av fordonets styrhjul, utrustades en försöksmaskin (Winter-Steiger) för automatisk styrning. Maskinen, som är hydrostatiskt driven, används i försöksveksamheten vid institutionen, för sådd och skötsel av parceller. De olika utrustningar som då kommer till användning placeras i en förskjutbar ram mellan fram- och bakhjul. Försöksmaskinen har med det bakre hjulparet upplyft en hjulbas på 2.18 m. I de praktiska försök som utfördes kördes maskinen med detta hjulpar upplyft för att motståndet vid sväng inte skulle bli för stort.

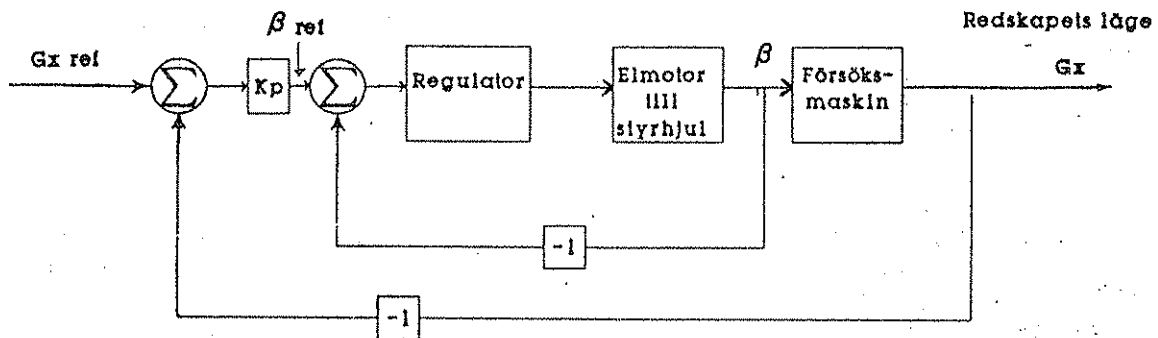
Styrningen är mekanisk varför ett ställdon hade att monteras. Ett enkelt prov utfördes varefter erforderligare styrkrafter på styrarmen beräknades. Valet stod sedan mellan ett elektriskt eller hydrauliskt ställdon. Då det enbart var fråga om att pröva om styrning av radrensare var möjlig med hjälp av styrhjulen, d v s principen som sådan och inte test av ställdon, valdes ett elektriskt ställdon, eftersom ett sådant är lättare att implementera. Maskinen är utrustad med 12 V elsystem och en 12 V likströms linjärmotor på 150 W valdes.

Den regulator som implementerats har som instorheter lateral avvikelse (låge vinkelrätt mot såraden) och styrhjulens vinkel. Styrhjulens vinkel bestäms med hjälp av en dragpotentiometer. Denna har monterats nära ett av framhjulen (vänster) för att minska inverkan av glapp i styrsystemet på mätningen. (Se bilaga 1 för bilder över försöksfordonet, försöksuppställning m m).

Regulator

Regulatorn har implementerats efter de resultat som erhöles vid simuleringarna. Det är en enkel proportionell regulator som har lateral avvikelse och styrhjulens vinkel som instorheter. Utstorheten från regulatorn är ett börvärde för styrhjulens vinkel. Den proportionella förstärkningsfaktorn K_p har relaterats på samma sätt som i simuleringssmodellen d v s ett positionsfel på 0.1 m resulterar i ett styrutslag på 0.1 rad när $K_p = 1$.

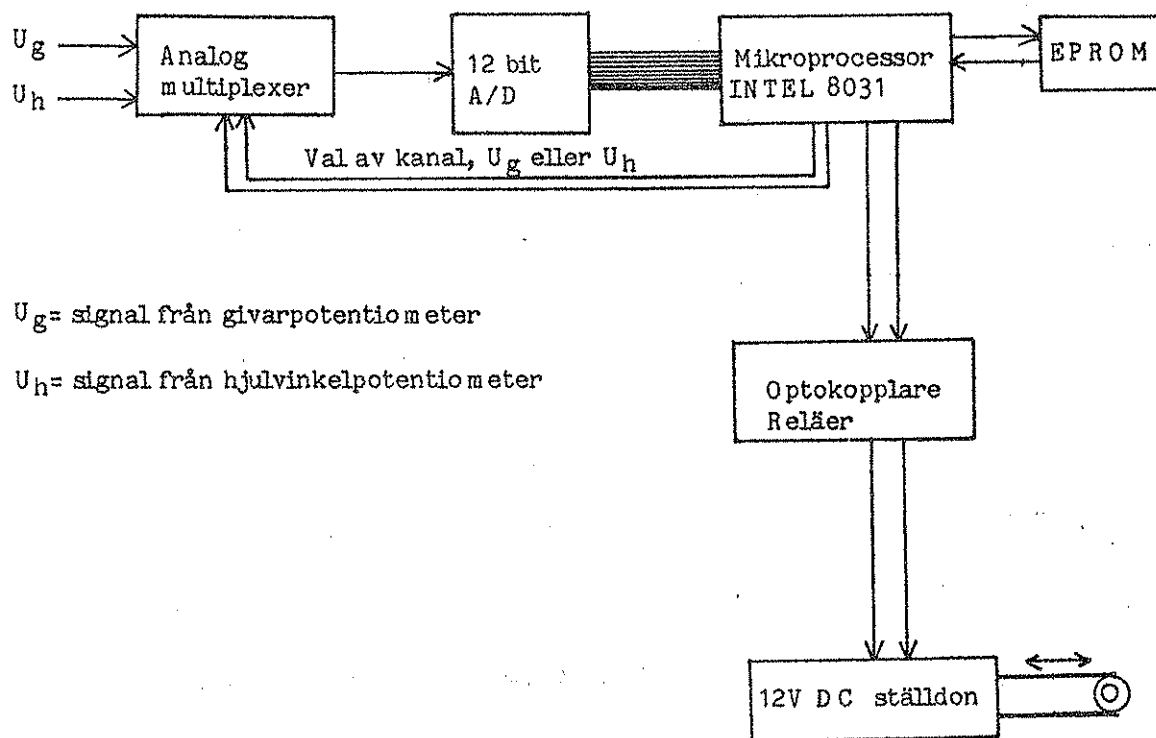
När regleringen av styrhjulen skulle provas uppstod svårigheter att få styrhjulen att stanna i rätt läge. Styrhjulen fortsatte förbi det läge som angavs av regulatorn p g a linjärmotorns tröghetsmoment som fortsatte att vrida hjulen. Detta innebar att om hög omställningshastighet av hjulen valdes började dessa svänga fram och tillbaka runt sitt rätta läge, med minskande amplitud, men ändå reglermässigt otillfredsställande. För att komma tillrätta med detta problem programmerades mikrodatorn att sända ut strömpulser till motorn. På detta sätt erhöles en lägre omställningshastighet av hjulen vilket gjorde att de stannade inom det dödband på ± 1 cm som definierats i regulatorn. Den omställningshastighet av hjulen som på det här sättet uppnåddes ligger på c a 0.03 rad/s, vilket dessvärre inte medgav att försöksmaskinen inte kunde framföras med någon högre hastighet. I figur 29 visas blockschemat för det kompletta reglersystemet.



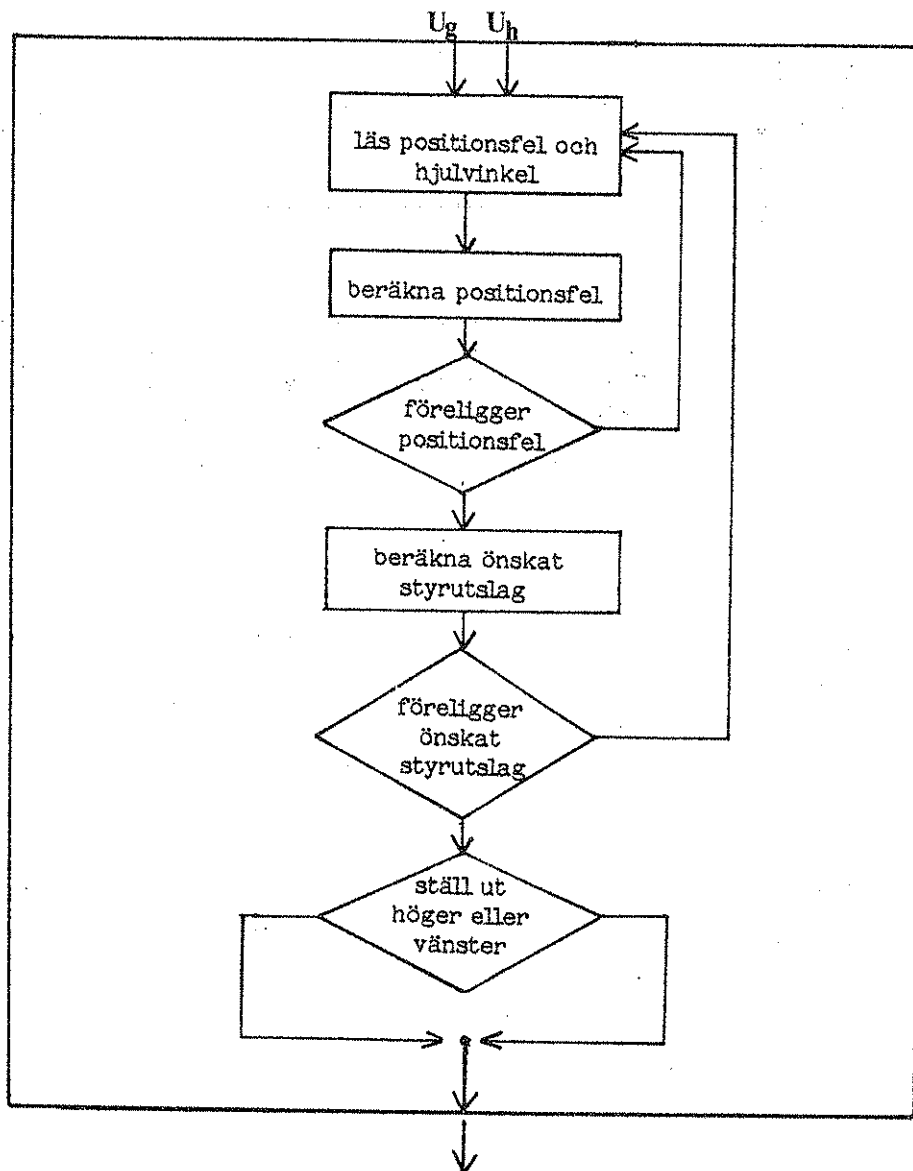
Figur 29. Blockschemat för försöksfordonets kompletta reglersystem.

För att realisera en regulator kan man välja mellan analog och digital teknik. Båda har för- och nackdelar. Det bestämdes dock att digital teknik i form av en mikroprocessor skulle användas. Detta för att det är enklare att ändra regleralgoritmen i en mikroprocessor än i en analog krets. Även en vanlig persondator skulle varit möjlig att använda men detta skulle ha medfört en del praktiska problem, eftersom denna kräver 220 V växelström.

Figur 30 visar den principiella uppbyggnaden av det automatiska styrsystem som försöksmaskinen utrustades med och figur 31 regleralgoritmen för styrningen. Regleralgoritmen är skriven i programspråket C, som är ett maskinnära språk, för att få ett snabbt system och återfinns i bilaga 3.



Figur 30. De väsentligaste komponenterna i det automatiska styrsystemet.



Figur 31. Regleralgoritm för den automatiska styrningen.

Avkännare

Då det tidigare valts att ett försök med mekanisk avkänning av grödan skulle göras började arbetet med att fram riktlinjer för hur en sådan borde konstrueras.

Det man bl a har att ta hänsyn till vid konstruktionen är:

- hur stort motstånd ger grödan i de tidiga utvecklingsstadierna?
- hur inverkar ogräset mellan raderna på avkänningen?
- hur jämnt är ett normalfält?
- hur fort vill man köra?
- hur påverkar sten avkännaren?
- hur många givare skall användas m m?

Uppräkningen slutar här men skulle kunna göras längre. Med hänsyn till de många krav man kan/bör ställa på en avkännare valdes några kritiska punkter ut och någon hänsyn till de andra togs inte. De praktiska försöken får sedan utvisa vilka punkter som bör ägnas större uppmärksamhet. En avkännare började därefter konstrueras som skulle kunna fungera under följande förutsättningar:

- motståndet för avkänning tillräckligt tidigast vid plantans 6-bladsstadium
- avkänning av grödan med en anordning som går mellan raderna

Figur 32 (nästa sida) visar den första givaren som gjordes.

Givaren består schematiskt av en ca 45 cm lång ram som kan parallellförskjutas. Ramens bredd och höjd över marken är justerbar. Höjden justeras genom att den platta som avkännarmedarna är monterade på höjs och sänks. Denna platta är monterad i en relativt tung släpsko som är parallellupphängd. Detta arrangemang gör att givaren följer marken på ett lugnt sätt och att möjlighet ges för avkänning av grödan på en konstant höjd.

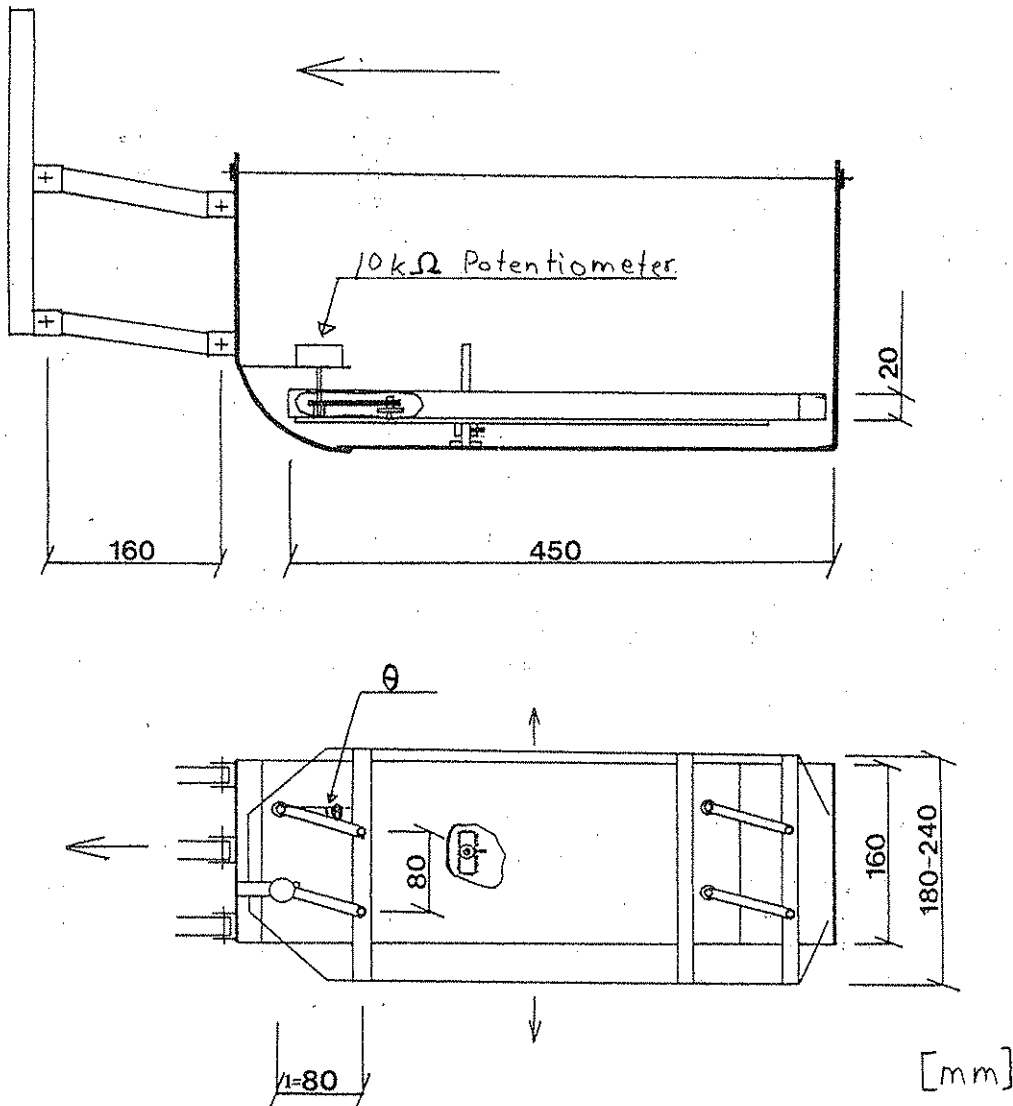
Tanken är sedan att ramen skall klämmas mellan raderna och på så sätt ge en lugn utsignal. Eftersom den avkända sträckan är relativt lång erhålls också en mekanisk medelvärdesbildning av positionen. En nackdel med givaren är att om en rad faller bort så flyttar sig ramen till den sidan och indikerar, falskt, en avvikelse. Man får i ett praktiskt system troligen använda sig av ett antal givare och bilda ett medelvärde över dessa att styra efter.

Utsignalen från givaren kommer från en potentiometer. Av figur 32 framgår att signalen från givaren inte blir proportionell mot sidoförskjutningen. Sidoförskjutningen X , är lika med:

$$X = l \sin \theta \quad (21)$$

där l = längden på parallellstagen och θ = vinkeln från givarens mittläge.

Detta är dock en liten olinjäritet i det intervall givaren antas arbeta inom, varför någon hänsyn till olinjäritet inte tas i reglerprogrammet.



Figur 32. Figuren visar den första prototypen som konstruerades.

Eftersom den ovan beskrivna givaren har ett relativt litet arbetsområde (± 4 cm) utvecklades ytterligare en givare. Denna var främst tänkt att användas vid inställning av regulatorn, eftersom den tillät större kursavvikelse, men även för praktiska prov i gröda.

Den andra givaren är tillverkad av tråd i lättmetall, för att få minsta möjliga tröghetsmoment vid lägesändringar. Tråden i givaren är också motståndskraftig mot deformation och fjädrar, om inte påkänningen är för kraftig, tillbaka till den form den givits. Givaren är förbunden till en vridpotentiometer via en kullagrad axel. Framför givaren sitter en böjd plåt vars uppgift är att förhindra att material fastnar och hindrar givarens rörelse. Inte heller denna givare är linjär men detta har ingen praktisk betydelse inom det intervall den arbetar.

Uttrycket för givarens sidoförskjutning X blir:

$$X = l \sin \theta + b/2 \cos \theta - b/2 \quad (22)$$

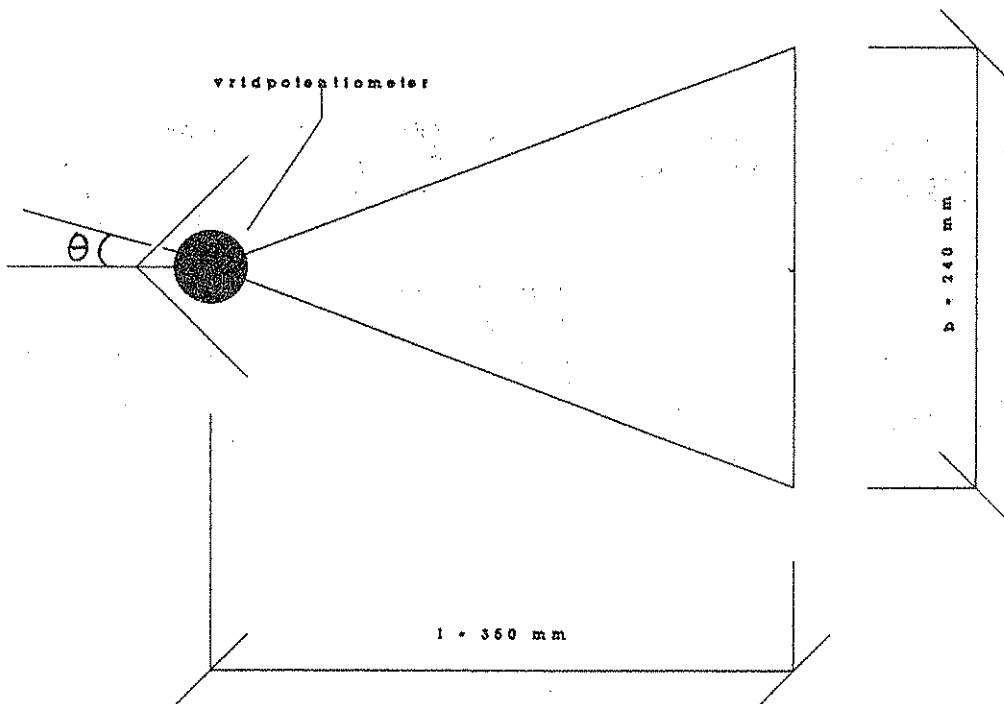
där:

l = givarens längd vinkelrätt tvärstaget

b = givarens största bredd

θ = vinkelavvikelsen i förhållande mittposition

Figur 33 visar en enkel skiss över givaren och dess mått.



Figur 33. Enkel skiss över givaren och dess mått.

PRAKTISKA FÖRSÖK

Allmänt

Två typer av försök utfördes med försöksmaskinen:

1. För att ställa in regulatorn d v s förstärkningsfaktorn K_p samt utvärdera bästa placering av givaren utfördes prov i en 15 m lång provbana på asfaltunderlag. I denna bana kunde även systemets optimala prestanda utvärderas.
2. Försök i vårsått korn för att ta reda på praktiskt uppnåeliga precisionsnivåer.

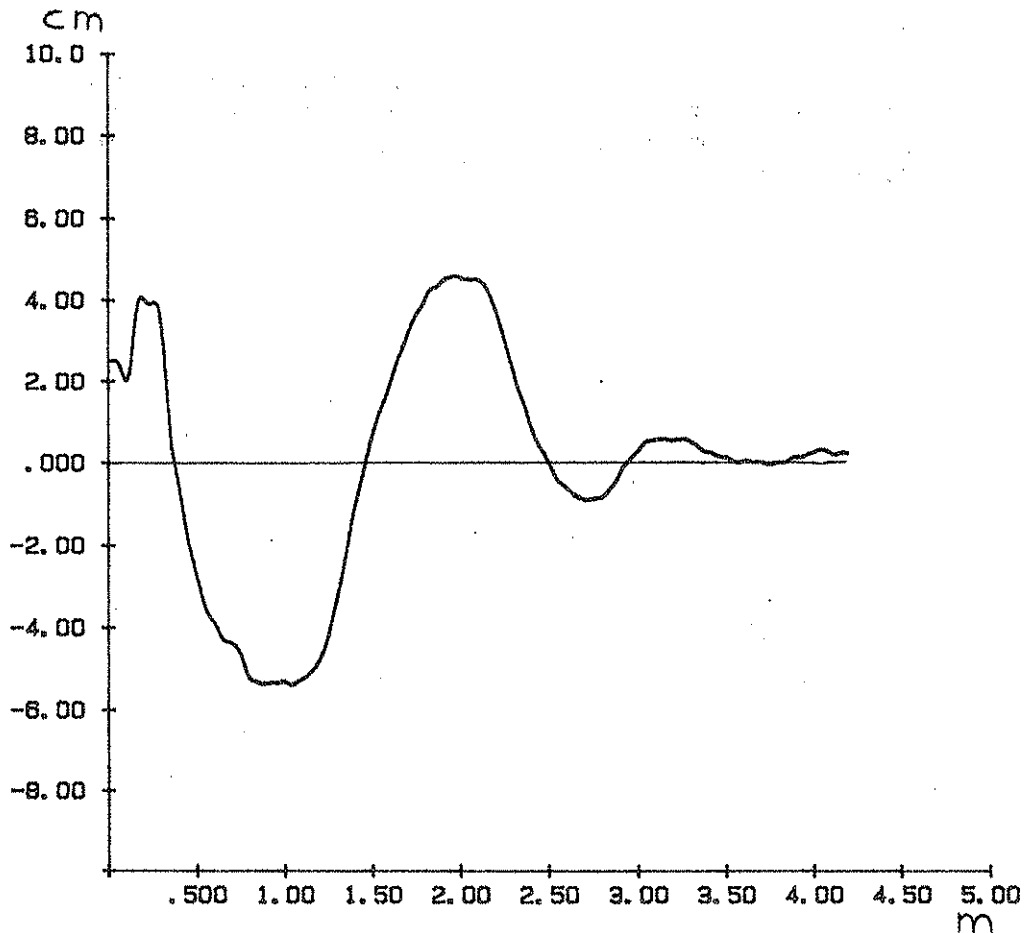
För att mäta vilken precision systemet hade spelades signaler från givaren in analogt på en mätbandspelare. Dessförinnan hade utspänningen från givaren i uppmätta positioner mätts upp för att erhålla korrekta kalibreringsspänningar.

Efter det att proven slutförts fördes mätvärdena över till dator för digital lagring och behandling. Vid den påföljande analysen utnyttjades programpaketet ASYST (se litteraturreferenser). Med hjälp av detta program lågpasfilterades signalerna på ett sådant sätt att frekvenser över 5 Hz togs bort. Vidare skalades x- och y-axlarna mellan lämpliga nivåer för att få en lättöverskådlig och jämförbar resultatpresentation. I de fall signaler från körning rakt fram analyserades beräknades standardavvikelsen och max-min felet togs fram.

Prov på asfalt

Som markering av sårad vid dessa försök tjänade upplagda brädor, 5*10 cm, med 25 cm "radavstånd". Den lätta givare med stort arbetsområde som framtagits för ändamålet användes vid dessa försök.

Vid proven användes ett flertal värden på K_p och placeringar av givaren. Figur 34 visar ett insvängningsförlopp med givaren placerad 25 cm framför framaxeln på försöksfordonet. K_p har här relativvärdet 4. Värdena på den proportionella förstärkningsfaktorn K_p kan direkt jämföras med motsvarande värden använda vid simuleringen.

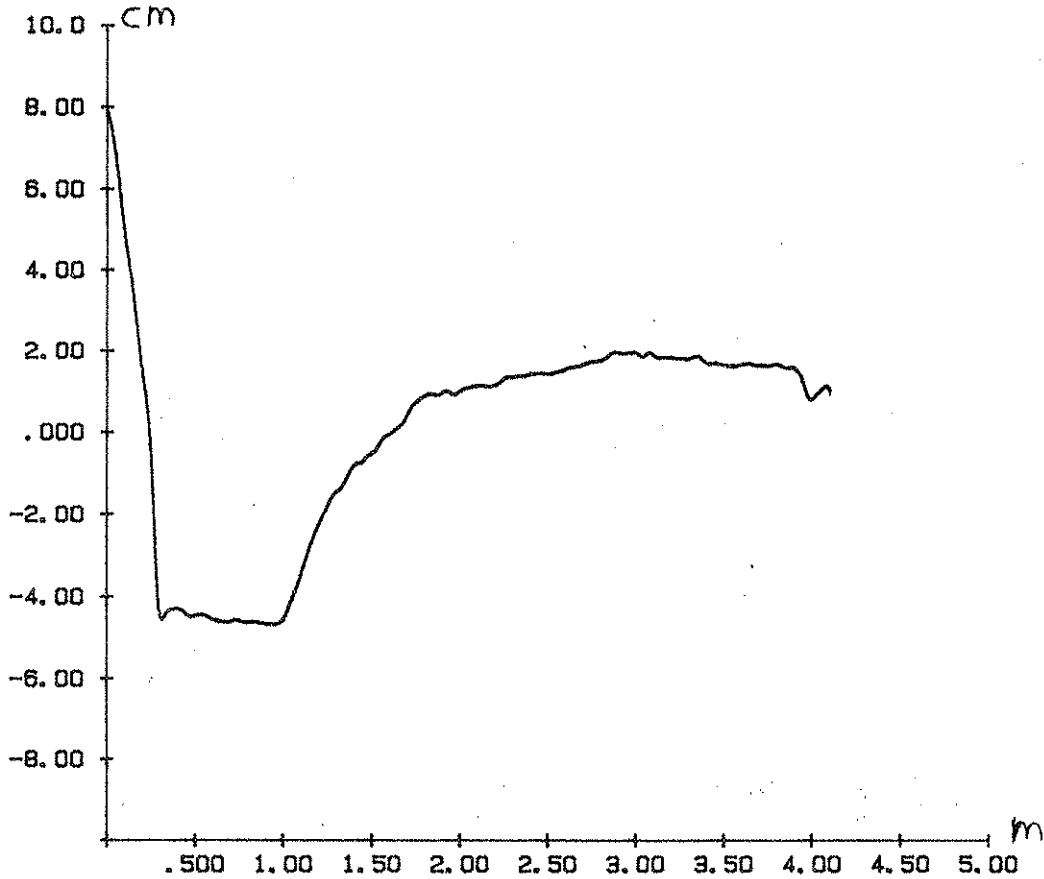


Figur 34. Insvängningsförlopp med $K_p = 4$. Provet utfört på asfalt vid 0.75 km/h. Givaren placerad 0.25 m framför framaxeln.

Man ser i figur 34 att systemet snabbt går upp till rätt nivå men sedan fortsätter förbi och att en relativt stor sk översläng erhålls. Dessutom oscillerar systemet in mot sitt nya jämviktsläge. Provet utfördes på följande sätt:

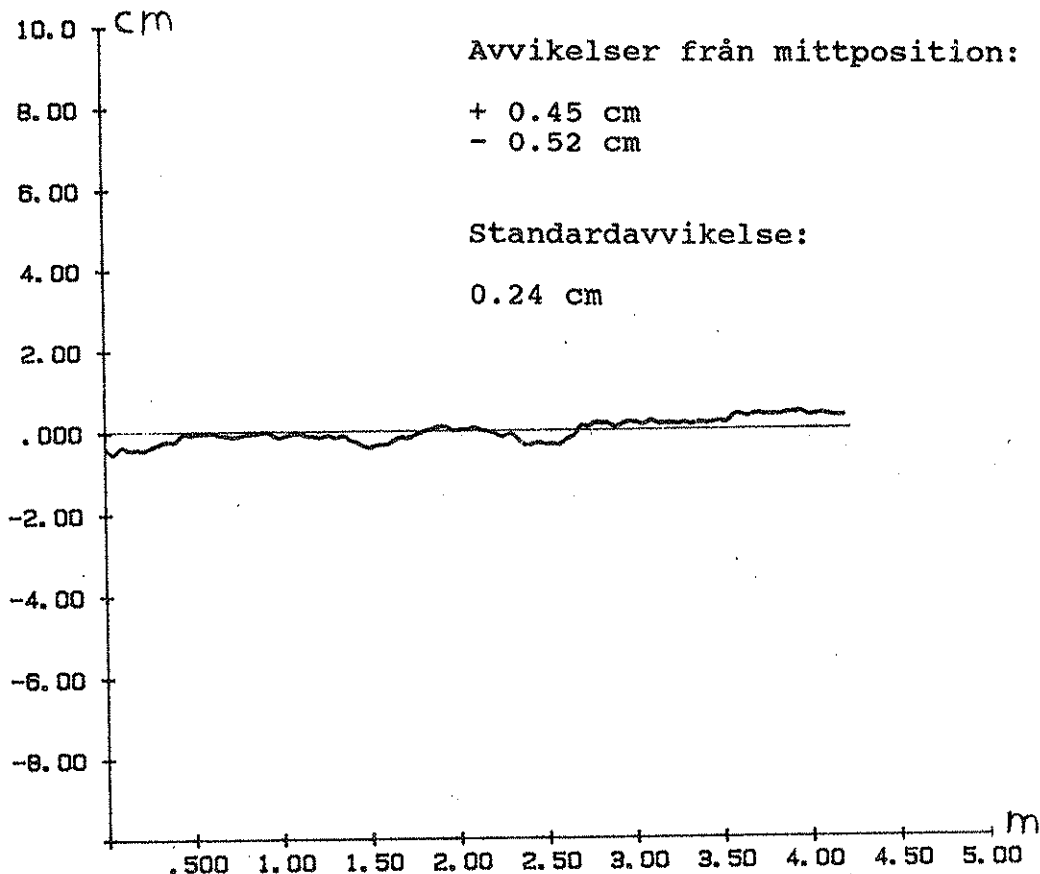
Fordonet kördes med låg hastighet c a 0.75 km/h rakt fram i banan samtidigt som givaren manuellt lyftes upp från läget mellan brädorna. När givaren lyfts upp kunde den föras åt sidan så att en kursavvikelse på fordonet erhöles. Efter detta fördes givaren tillbaka till sitt läge och insvängningsförloppet från den lägre nivån i figur 34 erhöles.

Figur 35 visar samma sorts försök och placering av givaren, K_p 's relativvärde är dock minskat till 2. Man ser att ett lugnare insvängningsförlopp erhålls och att systemet trots detta snabbt finner sin nya position.



Figur 35. Insvängningsförlopp med givaren placerad 0.25 m framför framaxeln. K_p 's relativvärde är minskat till 2.

Figur 36 visar körning rakt fram vid 0.75 km/h, samma placering av redskap och givare som tidigare, $K_p = 2$. Vid denna låga hastighet får systemets dynamik ingen inverkan på resultatet. Man kan med andra ord försumma inverkan av att styrhjulen ställer om sig sakta, att hjulen "plogar" samt däckens egenskaper. I detta försök har standardavvikelsen beräknats vilken visar sig vara mycket låg (0.24 cm).



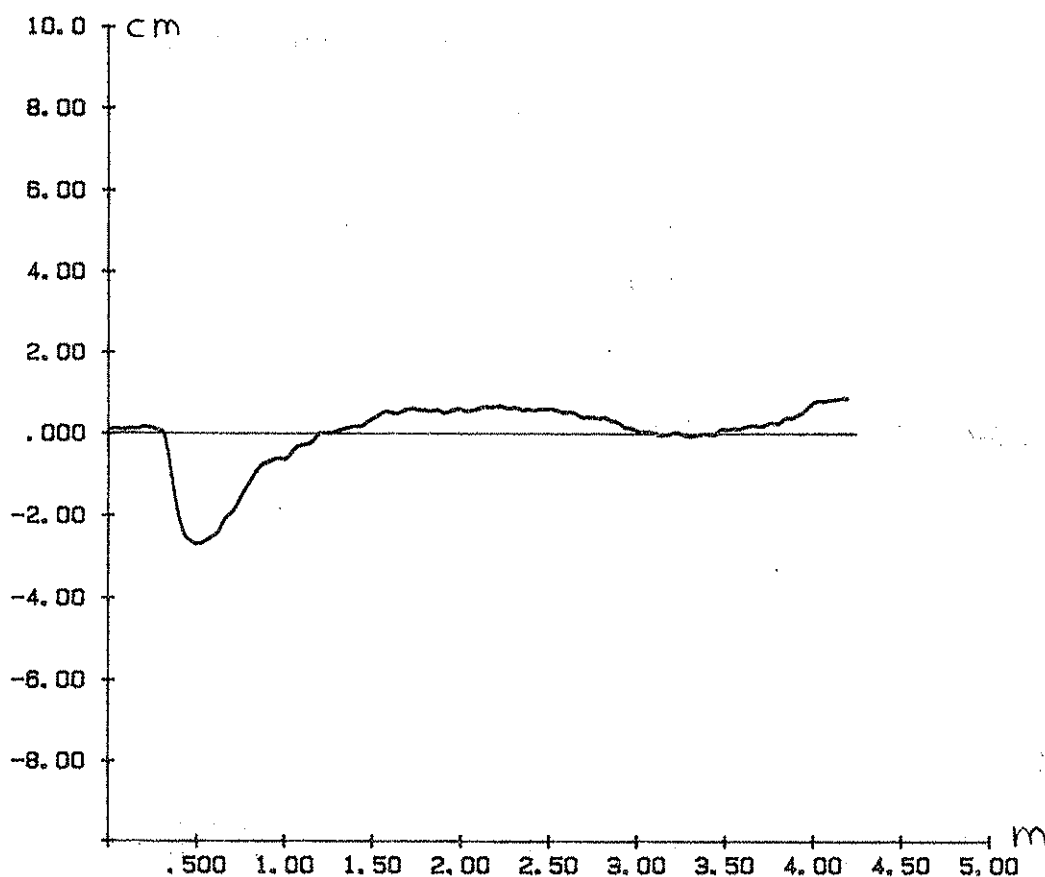
Figur 36. Resultat från körning rakt fram vid 0.75 km/h. Samma placering av givaren som tidigare.

Enligt simuleringarna skulle samma goda resultat kunna erhållas vid högre hastigheter förutsatt att:

- styrhjulen kunde ställas om tillräckligt snabbt och noggrant
- fordonet tar "styrning" med en gång
- raden kan avkännas med samma precision som i försöket (idealiska rader).

Sista punkten, avkänning av raden, torde bli det som i praktiken begränsar systemets prestanda.

Figur 37 visar resultaten från ett stegtest. Brädorna som definierar raden har i en skarv förskjutits 3 cm i sidled. Insvängningsförloppet liknar det som erhöles för figur 35, samma hastighet och inställningar har också använts. Denna inställning, d v s givaren 25 cm framför framaxeln samt förstärkningen $K_p = 2$, befanns vara den av de provade som gavs bäst resultat och har följaktligen använts för försöken i gröda.



Figur 37. Resultat från försök med ett 3 cm högt steg inlagt i banan, hastighet 0.75 km/h.

Prov i gröda

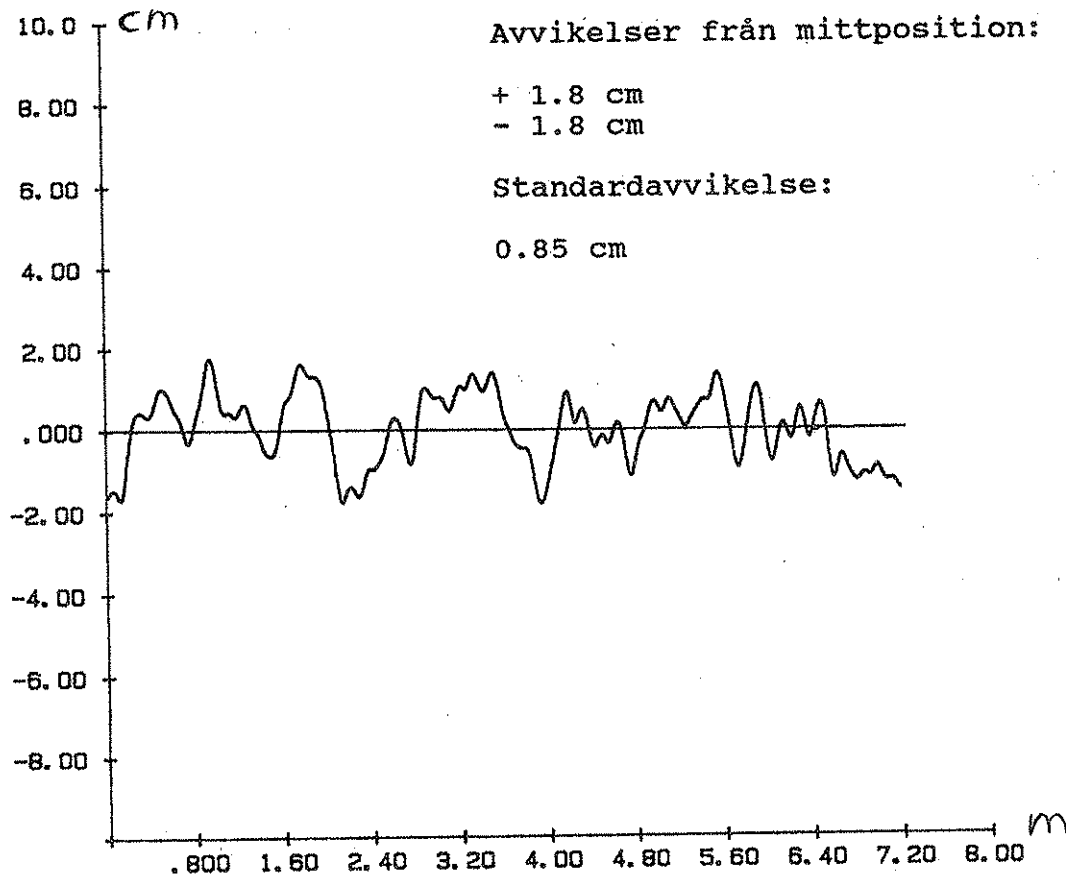
Prov utfördes i vårsått korn som såtts med dubbelt radavstånd (24 cm). All annan behandling av grödan normal för området (Ultuna, Uppsala) undantaget sprutning.

Proven utfördes i slutet av juni varför dessa i huvudsak blev ett tillfälle att utvärdera reglersystemet i praktisk drift. Eftersom grödan vid denna tidpunkt kommit långt i sin utveckling, strax före axskjutning, var möjligheterna till mekanisk avkänning av raderna goda. Det faktum att grödan nått så långt i sin utveckling innebar även att den mycket lätta

givare som tagits fram fungerade bäst även vid proven i gröda. Den har därför använts vid samtliga försök i gröda. Givaren enligt figur 32 var framtagen för att passa grödan precis när denna påbörjat sin stråskjutning. I nästan uppväxt gröda fungerade den otillfredsställande. Detta berodde huvudsakligen på att strån fastnade i den förskjutbara ramen och därmed mekaniskt hindrade dess rörelser.

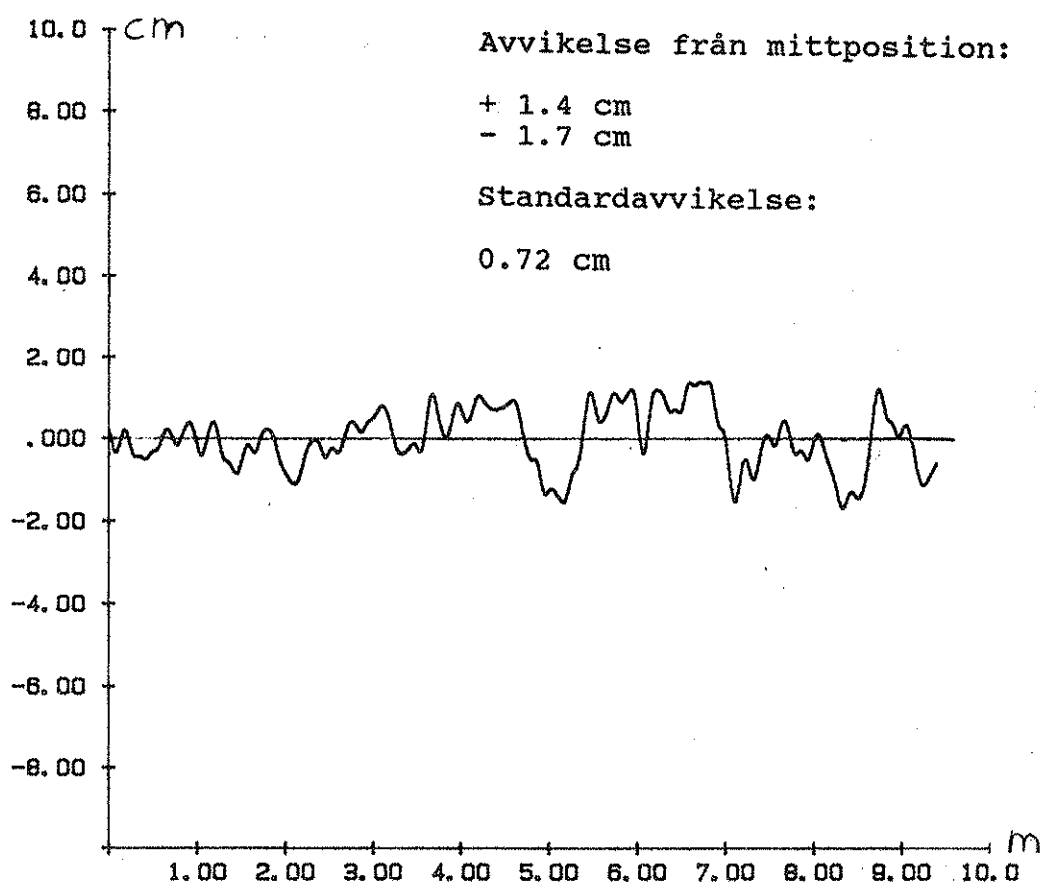
Resultat

Figur 38 visar provresultat från körning vid ca 1.25 km/h. Vid denna hastighet är standardavvikelsen låg (0.8 cm) och de maximala avvikelserna inom det intervall som satts upp som mål för projektet (2.5 cm).



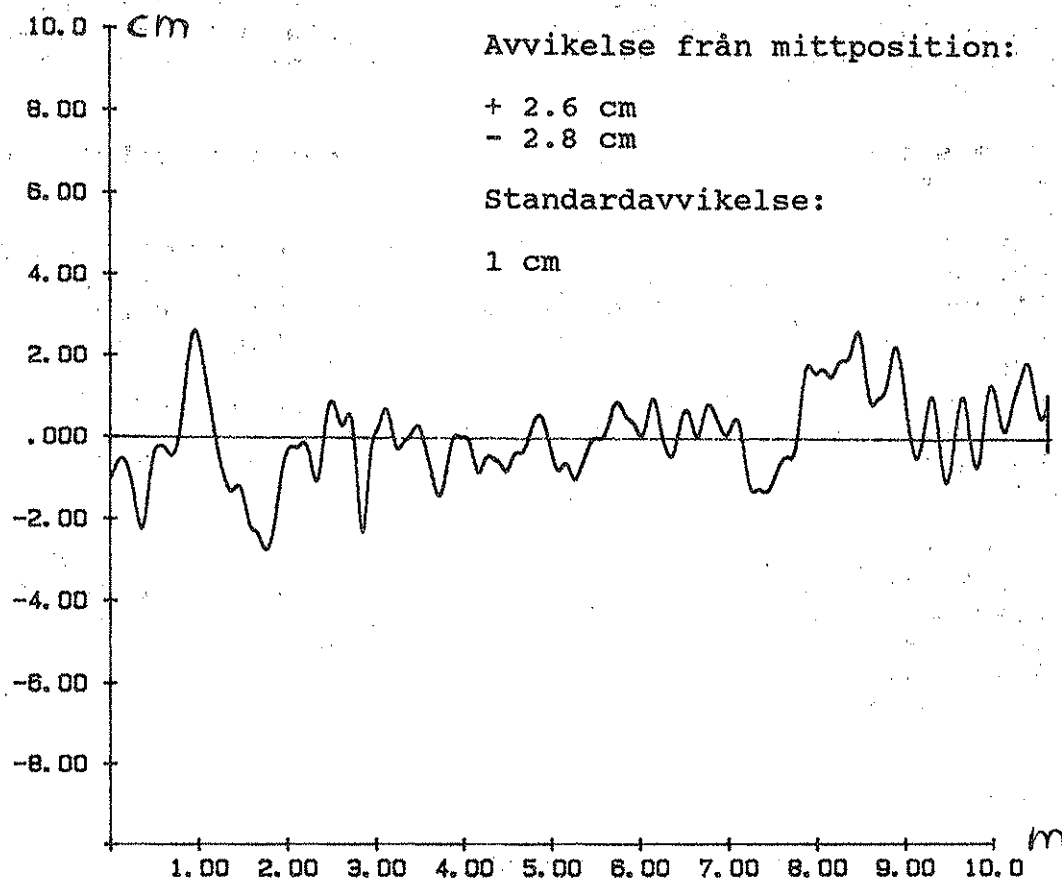
Figur 38. Provresultat från körning i gröda vid 1.25 km/h.

Figur 39 visar körning vid 1.7 km/h hastighet. Man ser här att ett något bättre resultat än det i figur 38 erhöles, standardavvikelsen och de maximala felen är här mindre. Detta beror troligen på att ogräsförekomsten varierade kraftigt över försöksfältet. På vissa sträckor var andelen stora rotoqräs mycket hög vilket innebar att den lätta givaren som användes ibland sköts åt sidan med påföljande kursavvikelse. Det bör dock tilläggas att kursavvikelseerna på g a detta blev små beroende på att en förflyttning av givaren inte omedelbart påverkar fordonets position. En annan egenskap som som iaktogs hos givaren var att den snabbt hittade tillbaka till sitt rätta läge mellan raderna. D v s, den hölls inte kvar i ett felaktigt läge beroende på att ogräs fastnade i den etc.



Figur 39. Resultat från körning vid 1.7 km/h. De visar att standardavvikelsen och de maximala avvikelseerna är mindre än i föregående figur 38. Detta beror troligen på att ogräsförekomsten varierade kraftigt över försöksfältet.

Figur 40 visar resultaten från körning vid 2.0 km/h.



Figur 40. Resultaten visar att de maximala felen och standardavvikelsen är relativt stora vid 2.0 km/h. Detta beror troligen på den stora andelen rotoqräs som nämnts. Man kan i figuren se att trots de kraftiga rotoqräsen har regleringen fungerat tillfredsställande. I intervallet 3-8 m ligger avvikelserna väl inom ± 2 cm.

Slutsatser från de praktiska försöken

Slutsatsen från de praktiska försöken blir att ett fordon med fast monterad radrensare går att styra med för radhackning tillräcklig precision.

Dessvärre kunde inte prov vid högre hastigheter än 2 km/h utföras. Styrhjulens omställningshastighet begränsade i dessa fall systemets prestanda enligt tidigare. Simuleringar som gjorts i efterhand med den låga omställningshastigheten bekräftar detta.

Med hänvisning till simuleringsresultatens överensstämmelse med de praktiska försöken, är det inte orealistiskt att anta att radrensning vid 8 km/h borde vara fullt möjlig med bibehållen precision. För detta krävs dock högre omställningshastighet av hjulen samt en förbättrad givare.

Den givare som nu kom till användning kan troligen förbättras på bl a följande sätt:

- givaren görs ännu lättare för att minska tröghetsmotståndet vilket skulle förbättra möjligheterna till tidig avkänning
- friktionen i givaren minskas genom att en annan typ av lägesindikering än den nu använda med vridpotentiometer används
- givaren ges någon form av, lämpligen progressiv, dämpning för att förbättra dess stabilitet vid höga hastigheter
- givaren görs självrensande och anpassas för praktisk användning (tålighet mot stenpåkörning t ex).

Dessutom måste, som nämnts tidigare, ett antal givare användas för att säkerställa funktionen om en givare går sönder eller en rad faller bort. Ett lämpligt antal givare är fem stycken. Med fem givare kan de två högsta värdena förkastas och ett medelvärde över de återstående tre får ligga till grund för fordonets reglering.

DISKUSSION

Försöken har visat att det rent reglertekniskt går att styra ett fordon med fast monterad radrensare med för radhackning tillräcklig precision. Kostnaden för den utrustning som krävs bör inte bli speciellt hög. Det största problemet som återstår är den del som skall avkänna fordonets position i förhållande till raderna.

Svårigheten att hitta en lämplig givare beror på att man tror sig kunna finna en lösning på problemet. Helst skall en givare fungera under alla de varierande förhållanden som råder under den period som ogräsbekämpning skall utföras. Lösningen ligger troligen i att använda sig av två olika system för avkänning. Ett system som fungerar när plantorna är späda samt ett som fungerar när grödan fått en viss stadga. Mekanisk avkänning är troligen det enda som kommer att fungera i det senare stadiet.

I början på säsongen är det troligt att enbart beröringsfria avkännare kan ge möjlighet att detektera raderna. De system som då främst är aktuella är s k bildbehandlinssystem. Den precision som sådana system kan ge idag är, som framgått av litteraturstudien, otillräcklig för radrensning, kostnaden är också hög. Emellertid går utvecklingen snabbt framåt inom detta område, det finns därför anledning att tro att precisionen kommer att öka och priset att minska. Tillsvidare är det dock

den mekaniska avkänningen som står till buds. Det är enkel lösning som bör bli billig vid produktion.

Nackdelen är att man troligen inte kan avkänna raden i ett så tidigt stadium som vore önskvärt från ogräsbekämpningssynpunkt. Det kan dock påpekas att man inte alltid är ute vid biologiskt optimal tidpunkt för alla andra arbeten inom jordbruket. Kan därför en mekanisk avkänning av raden göras som tillåter en rationell ogräsbekämpning omkring grödans 6-bladsstadium har man nått en bit på vägen.

Det fortsatta arbetet bör bestå i att ett "riktigt" system byggs upp. D v s förslagsvis en traktor där radrensaren kan monteras i lyftarmar framtill och provning göras under praktiska förhållanden. Med en traktor med hydrostatisk styrning kan man även prova hur man på enklaste sätt kan konvertera styrningen, vilka hydraulventiler som ger tillräcklig snabbhet och noggrannhet, vilka säkerhetsanordningar som krävs, etc. Arbete måste också läggas på att få systemet så enkelt och underhållsfritt som möjligt.

LITTERATURFÖRTECKNING

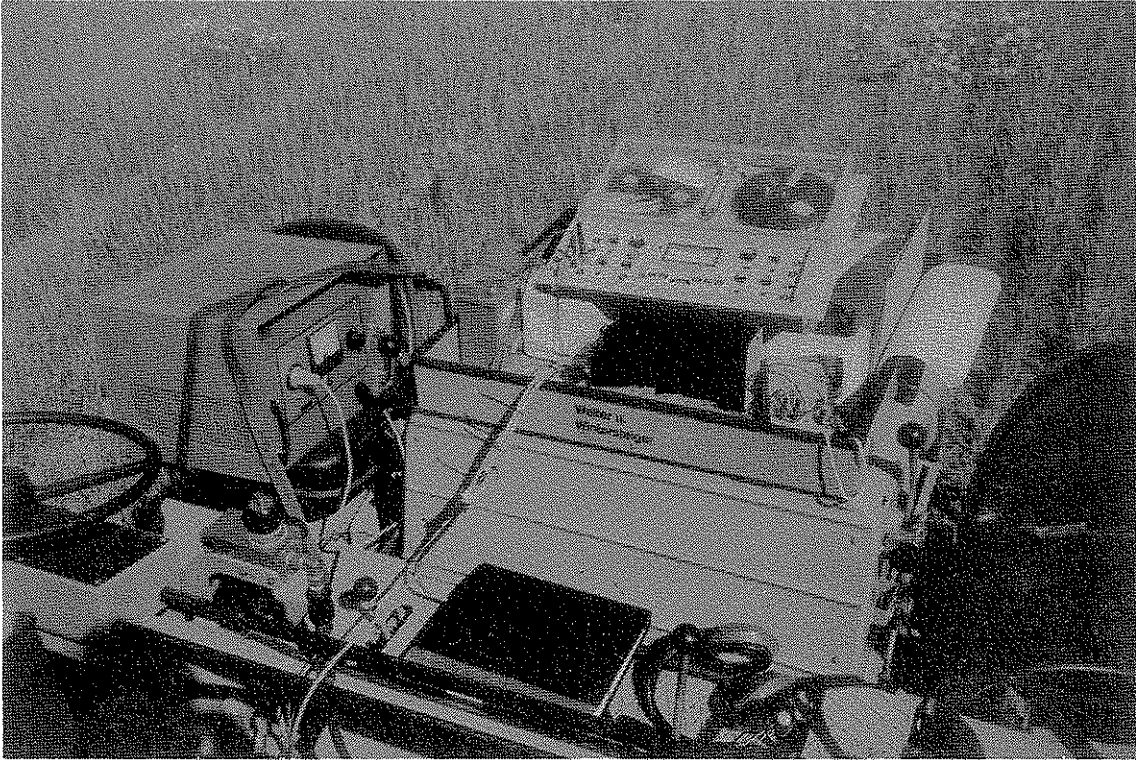
- Ballard, D., Brown, C. 1982. Computer vision, Prentice Hall.
- Elmqvist, H. 1975. SIMNON, an interactive simulation program for nonlinear systems, users manual. Report 7502 April 1975, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology.
- Gerrish, J.B., Surbrook, T.S. 1983. Mobile Robots in Agriculture. In Robotics and Intelligent Machines in Agriculture. Publication PO 484. ASAE. St. Joseph, MI.
- Gerrish, J.B., Stockman, G.C., Mann, L., Hu, G. 1985. Image processing for pathfinding in agricultural field operations. ASAE Paper No. 85-3037.
- McMahon, C.B., Skrivastava, A.K., Tennes, B.R., Heyn, M.L. 1982. Computer graphics applied to the design of automatic vehicle guidance. ASAE Paper No. 82-5018.
- Mizrach, A., Schmulevich, I., Yekutieli, O. 1987. Evaluation of laser guidance methods for a multi-jointed mobile truss. ASAE Paper No. 87-1060.
- Nybrant, T. 1989. Inst för lantbruksteknik, Ultuna, Uppsala. Personligt samtal.

- Patterson, R.J., Fehr, B.W., Sheets, L.P. 1985. Electronic guidance system for a planter. ASAE Paper No. 85-1587.
- Pichon, J.D., Steinbruegge, W.W. 1965. Propagating audio-frequency magnetic fields through soil. Transactions of the ASAE 8:264-266.
- Pool, T.A., Darcey, C.L., Wilkes, K.E. 1984. Mechanical automatic guidance with open-center hydraulics. ASAE Paper No. 84-1634.
- Reid, J.F., Searcy, S.W. 1987. Vision-Based Guidance of an Agricultural Tractor. Technical Article 22 169, Texas A&M University.
- Rydberg, T. 1989. Inst för växtodling, Ultuna, Uppsala. Personligt samtal.
- Widden, M.B., Blair, J.R. 1972. A new automatic tractor guidance system. Journal of Agricultural Engineering Research 17:10-21.
- Zingery, W.L., Duller, N.M., Tatum, J.E. 1984. Inertial sensors for agricultural applications. ASAE Publication 8-84, part 1.
- Young, R.E., Olson, K.J., Jahns, G. 1976. Automatic guidance of farm vehicles: A monograph. Agricultural Engineering Departmental Series No. 1. Auburn University, Auburn, Al.
- Young, S.C., Johnson, C.E., Schafer, R.L. 1981. Evaluation of a microcomputer-based vehicle guidance controller ASAE Paper No. 81-1606.

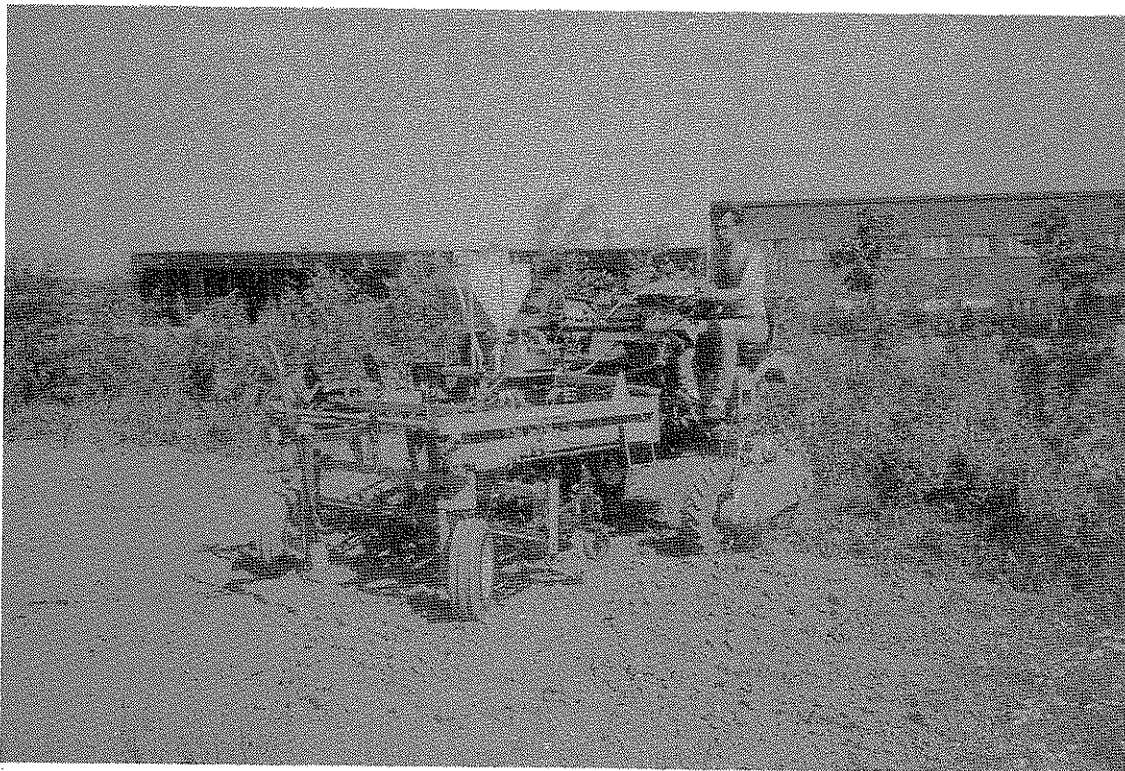
1:1

BILAGA 1

Bilder över försöksmaskinen, försöksfältet och de två givarna.



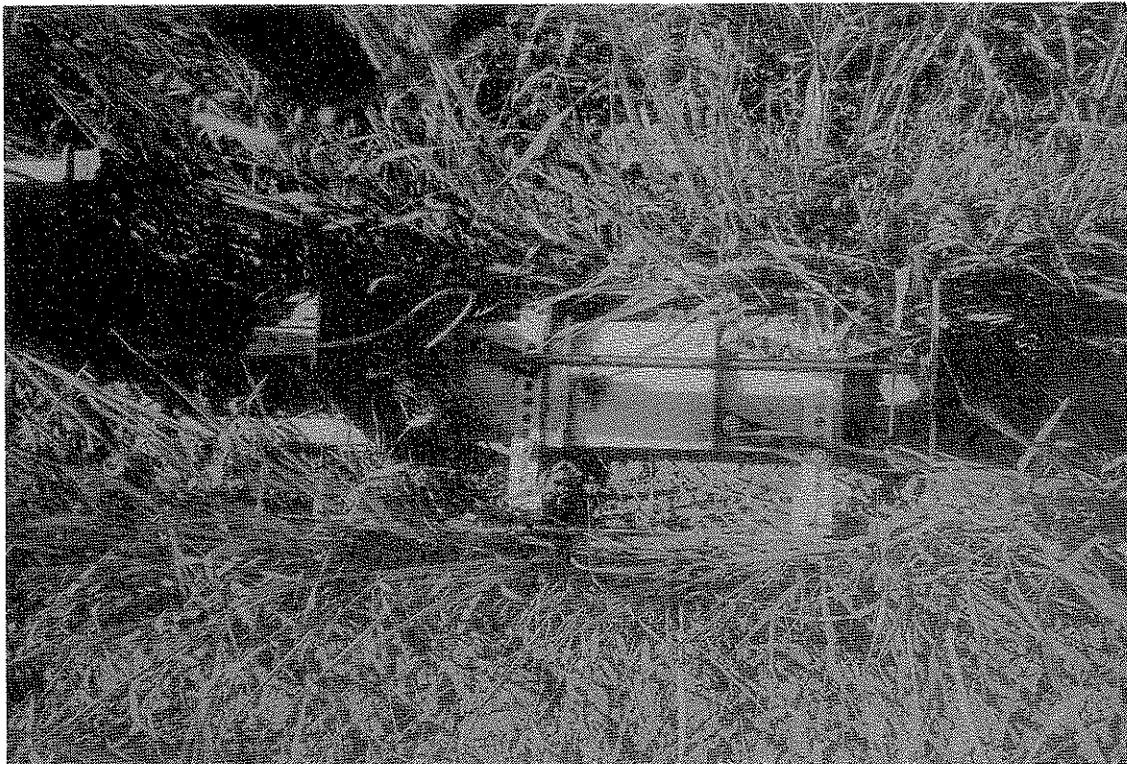
Försöksmaskinen med utrustning för inspelning av givar signalen.



Den lätta givaren monterad framför framaxeln på försöksmaskinen.



Givaren i "arbete" mellan raderna, låg ogräsförekomst.



Den första givarprototypen som utvecklades. Problemet med denna givare var att material fastnade i den förskjutbara ramen och mekaniskt stoppade densamma.

1:3



Bild över försöksfältet där det framgår att ogräsförekomsten varierade kraftigt. Andelen kraftiga rotgräs är stor.



Den lätta qivaren.

BILAGA 2

Simuleringsprogrammet.

X = bakaxelns mittpunkt i x-led
 Y = bakaxelns mittpunkt i y-led
 AT = fordonets attitydvinkel α
 BETP = fordonets styrhjulsvinkel
 LTHB = fordonets hjulbas
 LTSF = fordonets spårvidd fram
 LTSB = fordonets spårvidd bak
 VBM = fordonets framföringshastighet
 OG = styrhjulems omställningshastighet i rad/s

CONTINUOUS SYSTEM TRAC

"MODELL AV TRAKTORNS RÖRELSE

INPUT BETP

OUTPUT LTSF1 LTHB1

STATE X Y AT

DER DX DY DAT

DY=VBM*sin(AT)

DX=VBM*cos(AT)

K=IF BETP>0 THEN -1 ELSE 1

DAT=(2*VBM*tan(BETP))/(2*LTHB-K*LTSF*tan(BETP))

LTHB1=LTHB

LTSF1=LTSF

LTHB1=LTHB

VBM1=VBM

END

DISCRETE SYSTEM RED

INPUT X Y AT

OUTPUT RPY RPX

TIME A

TSAMP L

"Koordinater för redskap i frh punkten BM i x- o y-led

RPX=X+RRBM*cos(AT)

RPY=Y+RRBM*sin(AT)

RRBM1=RRBM

L=A+DA

DA=.05

END

DISCRETE SYSTEM GIV

"BESTÄMNING AV GIVARES POSITION MED UTGANGSPUNKT FRÅN

"TRAKTORNS X,Y KOORDINATER. VITT BRUS ADDERAS TILL GIVARSIGNALEN

"FÖR ATT SIMULERA PLANTORNAS SPRIDNING I RADEN.

INPUT X Y AT e1

OUTPUT GPY

TIME H

TSAMP W

GPX=X+GRBM*cos(AT)

GPY=Y+GRBM*sin(AT)+e1

GRBM1=GRBM

W=H+DH

DH=.05

END

2:2

DISCRETE SYSTEM REF

"REFERENSRADERNA(SA-DITO)SAMT DEN STALLBARA RAMPEN

INPUT X AT

OUTPUT F

TIME L

TSAMP Z

IN=X

F=IF IN<5 THEN 0 ELSE IF IN>RAMP THEN RY ELSE E

E=(RY/RX)*(IN-5)

RAMP=5+RX

RY: .1

RX: 1

F1=F-.125

F2=F+.125

F3=F+.375

F4=F+.625

F5=F+.875

F6=F+1.125

Z=L+DL

DL: .05

END

CONTINUOUS SYSTEM REG

"pid regulator. dödband på +/- 1 cm inlagt.

TIME TI

INPUT F GPY

OUTPUT BET

STATE X1 I

DER DX1 DI

"EE=IF DI>.01 THEN 1 ELSE IF DI<-.01 THEN 1 ELSE 0
ee=1

A=EE*KP*(F-GPY)+KI*I+(KD/TC)*(X1-GPY)

BET=IF A>HI THEN HI ELSE IF A<LO THEN LO ELSE A

DX1=(GPY-X1)/TC

DI=F-GPY

TC:0.01

KP:1

KD:0

KI:0

HI:.5

LO: -.5

END

CONTINUOUS SYSTEM STYR

"VARIERBAR OMSTÄLLNINGSHASTIGHET PÅ HJULEN I RAD/S

INPUT BET F

STATE BETP

DER DBETP

DBETP=B

B=IF E>0 THEN OG ELSE IF E<0 THEN UG ELSE 0

E=BET-BETP

OG: .2

UG: -.2

END

DISCRETE SYSTEM STDEV1

TIME R

TSAMP RS

OUTPUT E1

E1=NORM(R)*STD

RS=R+DR

DR: .05

STD: .01

END

2:3

```
DISCRETE SYSTEM LWP
"Koordinater för vänsterhjulens positioner
INPUT X Y AT LTSF1 LTHB1
TIME H1
TSAMP W1
MY=ATAN(LTSF1/(2*LTHB1))
YF=Y+ROT*sin(BETA)
ROT=SQRT((LTSF1*LTSF1/4)+(LTHB1*LTHB1))
BETA=AT+MY
XF=X+ROT*cos(BETA)
YB=Y+(LTSB/2)*sin(1.5708-AT)
XB=X-(LTSB/2)*cos(1.5708-AT)
LTSB:1.5
W1=H1+DH1
DH1:.05
END
CONNECTING SYSTEM HACKA
TIME T
BET[STYR]=BET[REG]
BETP[TRAC]=BETP[STYR]
X[LWP]=X[TRAC]
Y[LWP]=Y[TRAC]
AT[LWP]=AT[TRAC]
LTSF1[LWP]=LTSF1[TRAC]
LTHB1[LWP]=LTHB1[TRAC]
X[REF]=X[TRAC]
F[REG]=F[REF]
E1[GIV]=E1[STDEV1]
F[STYR]=F[REF]
GPY[REG]=GPY[GIV]
X[RED]=X[TRAC]
Y[RED]=Y[TRAC]
AT[RED]=AT[TRAC]
AT[REF]=AT[TRAC]
X[GIV]=X[TRAC]
Y[GIV]=Y[TRAC]
AT[GIV]=AT[TRAC]
END
MACRO B1
SPLIT 2 1
AXES H 0 60 V 0 .2
SHOW RPY(RPX)
SHOW F(GPX)
AXES H 5 20 V -.05 .15
"TEXT 'Reaktion vid störning i intervallet 0-60 (x,y) m.'"
SHOW RPY(RPX)
SHOW F(GPX)
"TEXT 'Reaktion vid störning i intervallet 5-20 (x,y) m.'"
DISP          KP RRBM GRBM STD LTHB LTSF LTSB RY RX VBM
END
```

2:4

```
MACRO B2
SPLIT 1 1
AXES V -.25 1 H 0 60
SHOW RPY(RPX) -MARK
SHOW YF(XF) -MARK
SHOW YB(XB) -MARK
SHOW F1(GPX)
TEXT 'översiktsbild: 1. hacka 2. vä framhjul 3. vä bakhjul (x,y) m.'
SHOW F2(GPX)
SHOW F3(GPX)
SHOW F4(GPX)
SHOW F5(GPX)
SHOW F6(GPX)
DISP KP RRBM GRBM STD LTHB LTSF LTSE RY RX VBM
END
```

```
MACRO B3
SPLIT 1 1
AXES V -.25 1 H 5 20
SHOW RPY(RPX) -MARK
SHOW YF(XF) -MARK
SHOW YB(XB) -MARK
SHOW F1(GPX)
SHOW F2(GPX)
SHOW F3(GPX)
SHOW F4(GPX)
SHOW F5(GPX)
TEXT 'översiktsbild: 1. hacka 2. vä framhjul 3. vä bakhjul (x,y) m.'
DISP KP RRBM GRBM STD LTHB LTSF LTSE RY RX VBM
END
```

BILAGA 3

Reglerprogrammet för fordonets styrning, skrivet i
programspråket C.

r = aktuell styrhjulsvinkel
f = avvikelser från korrekt position

```

/* styrning av radhacka */

#include "io51.h"
int d0,d1;
void delay(d1)
{
d0=0;
while(d0<d1){d0=d0+1;}
}
void init() /* motor off and initialize */
{
output(P3,23);
return;
}
void right() /* start motor turn right */
{
clear_bit(P3_5_bit);
set_bit(P3_6_bit);
return;
}
void stopp() /* stop motor */
{
clear_bit(P3_5_bit);
clear_bit(P3_6_bit);
return;
}
void left() /* turn left */
{
set_bit(P3_5_bit);
clear_bit(P3_6_bit);
return;
}
void pot1() /* select pot1 */
{
set_bit(P3_0_bit);
set_bit(P3_1_bit);
clear_bit(P3_2_bit);
return;
}
void pot2() /* select pot2 */
{

```

3:2

```
set_bit(P3_0_bit);
set_bit(P3_2_bit);
clear_bit(P3_1_bit);
return;
}
void pot3()          /* select pot3 */
{
set_bit(P3_2_bit);
set_bit(P3_1_bit);
clear_bit(P3_0_bit);
return;
}
int ad()             /* read ad */
{
int h,l,i,n;
n=2;                /* n sets delay time */
i=0;
while(i<n){
i=i+1;
}
clear_bit(P3_3_bit); /* select 12-bit-conversion */
clear_bit(P3_4_bit); /* start convert */
set_bit(P3_4_bit);
i=0;
clear_bit(P3_3_bit); /* select highbyte */
while(i<n){ i=i+1; }
h=input(P1);

set_bit(P3_3_bit); /* select lowbyte */
i=0;
while(i<n){ i=i+1; }
l=input(P1);
return(h*16+l/16);
}
void main()          /* main program*/
{
int r,f,s,kp,k2;
kp=(1/2);
k2=3;
s=50;
loop: init();
pot1();
f=ad();
f=(f-2048)*kp;
pot3();
r=ad();
r=(r-2048)*k2;
if ((f-r)>s) {left();delay(60);stopp();delay(100);}
if ((f-r)<-s) {right();delay(60);stopp();delay(100);}
if ((f-r)>-s &&(f-r)<s) stopp();
goto loop;
}
}
```