

Bekæmpelsesmiddel forskning fra Miljøstyrelsen
Nr. 77 2003

Automatisk præcisionsstyring til mekanisk ukrudtsbekæmpelse i gartnerier og planteskoler

Karsten Rasmussen, Bo Melander og Lillie Andersen
Danmarks JordbrugsForskning

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

SAMMENDRAG	4
SUMMARY	7
1 INDLEDNING	10
2 MATERIALER OG METODER	12
2.1 FORMÅL	12
2.2 DE AUTOMATISKE STYRESYSTEMER	12
2.3 FØRSØGSPLANER	14
2.4 PROJEKTFORLØB	15
2.5 OPGØRELSE AF RESULTATER	21
2.6 FEJL – FEJLKILDER OG LØSNINGER	23
3 RESULTATER	26
3.1 FØRSØGSRESULTATER	26
3.2 SKADER PÅ VEDPLANTEKULTURER VED MANUEL RADRENSNING	35
3.3 BEREGNINGER AF ØKONOMISKE, TIDS- OG ENERGIMÆSSIGE KONSEKVENSER VED BRUGEN AF AUTOMATISK STYRING TIL RADRENSNING	37
4 DISKUSSION	46
5 KONKLUSIONER	50
6 REFERENCER	52
APPENDIKS A	54

Sammendrag

Behovet for bekæmpelse af ukrudt i frilandsgrønsager og planteskoler er ofte stort, fordi der er tale om konkurrencesvage kulturer, der dyrkes på store rækkeafstande, typisk 25-50 cm. Samfundets ønske om reduktion i pesticidanvendelsen i jordbruget, herunder gartnerier og planteskoler, samt det faktum, at flere herbicider er fjernet fra markedet på grund af revurderingen, har medført, at mekanisk ukrudtsbekæmpelse gradvist vinder mere og mere indpas. I gartnerier og planteskoler er det først og fremmest traditionel radrensning til bekæmpelse af ukrudt i rækkel mellemrummene, som anvendes.

Muligheden for at kunne styre radrensere automatisk i rækkeafgrøder har længe været ønsket i jordbruget, fordi det i flere henseender kan gøre den mekaniske ukrudtsbekæmpelse i rækkel mellemrummene betydelig mere rationel. For det første, fordi en ekstra lønudgift kan spares i de tilfælde, hvor der foruden traktorchaufføren er behov for en ekstra person til finstyring af selve redskabet. For det andet, fordi arbejdskapaciteten forventes at kunne øges væsentligt, da fremkørselshastigheden kan øges og sandsynligvis også redskabets arbejdsbredde. For det tredje, fordi arbejdsmiljøet for traktorchaufførerne kan forbedres i forhold til de eksisterende styresystemer, som kræver stor koncentrationsevne og derfor er begrænsende for den daglige driftstid. Automatisk præcisionsstyring kan være med til at reducere herbicidforbruget ved at kunne kombinere radrensning og båndsprøjtning.

Formålet med projektet har været at undersøge perspektiverne og mulighederne for at kunne styre radrensere automatisk med en rimelig præcision og pålidelighed i forbindelse med ukrudtsbekæmpelse i række kulturer i gartnerier og planteskoler. Desuden at klarlægge mulighederne for at anvende ekstraudstyr på monteret en radrenser til mekanisk bekæmpelse af ukrudt i selve kulturrækkerne, og at kvantificere bekæmpelseseffekterne mod ukrudt og eventuelle skader på kulturerne. Yderligere at redegøre for relevante anvendelsesmuligheder i frilandsgrønsager og planteskoler, herunder at vurdere konsekvenserne for herbicidforbruget, energiforbruget og økonomien for avleren.

Der var fra starten tre potentielle systemer, som skulle sammenlignes med manuel styring:

- ECO-DAN's LPS (Local Positioning System) dansk vision system (ED)
- Frank Poulsen Aps. AUTOPILOT dansk vision system (FP)
- Robert Tucker AEGIS (Agricultural Guided Implement Systems) australsk system baseret på aluminiumsmarkører og en metaldetektor (RT)

Det australske system måtte opgives efter nogle indledende test og tekniske problemer. De øvrige systemer blev afprøvet i forsøg med udplantede kål, såede kål og såløg på Forskningscenter Flakkebjerg, og i prik- og frøbede af nordmandsgran, rødgran og fuglekirsebær hos Hedeselskabets Planteskole, Brønlundgård. I forsøgene blev der kørt på forskellige stadier af afgrødernes udvikling og med forskellige hastigheder og afstande til rækkerne. Projektet

har været præget af, at de styresystemer vi skulle afprøve mod forventning ikke var færdigudviklede, og at de løbende er blevet udviklet i projektførelset. Derfor har det været nødvendigt at improvisere undervejs i forhold til de oprindelige planer. Til gengæld har vi kunnet følge og til dels bidrage til udviklingen af systemerne, hvilket har givet os et godt indblik i systemernes styrker og svagheder.

Vi kan konkludere, at begge de danske systemer fungerer ligeså præcist som manuel styring under ideelle betingelser. Det vil sige, når der er symmetriske afgrødeplanter i visuelt tydelige rækker og ukrudtsplanter i begrænset størrelse og antal. Begge systemer har til gengæld ikke været pålidelige, når den ideelle situation ikke har været tilstede. Der var i starten problemer med lys-skygge kontraster i billedfelterne – men dette har begge fabrikanter løst i projektets første år. Det største problem har vel nok været at skelne mellem ukrudt og afgrøde, specielt hvis ukrudtsplanter har haft samme størrelse som afgrødeplanterne. Erfaringerne med begge styresystemer viser, at tokimbladede kulturplanter skal have et bladareal på 2-5 cm² og stå med en regelmæssig afstand hen igennem rækken for, at kameraet kan genkende rækken. I vedplantekulturer og løg skal planterne være mere end 5 cm høje, for at systemerne kan genkende rækken og styre radrenseren lige så godt som manuel styring. Generelt kan det også konkluderes, at jo mindre afgrødeplanterne er, jo mere følsomme er systemerne for uregelmæssigheder i rækkerne og ukrudt mellem rækkerne. Hvis ukrudtsplanterne spirer og vokser ligeså hurtigt som afgrødeplanterne, er det nødvendigt med supplerende forudgående bekæmpelsesmetoder, der ikke er afhængige af at skulle skelne visuelt mellem afgrøde og ukrudt. Et tredje problem har været asymmetriske afgrødeplanter f.eks. skæve planter (specielt ved udplantning), væltede planter eller planter sået i brede bånd. Når styresystemerne reagerer på sådanne planter, vil redskabet kunne skade planter i de øvrige rækker. Trods disse problemer er der perspektiv i automatiske styresystemer, fordi det er blevet klarlagt, hvad systemerne kan og ikke kan, således at de kan indarbejdes i integrerede bekæmpelsesstrategier. Systemerne er fortsat under udvikling, og de vurderes i løbet af få år at kunne erstatte manuel styring i en lang række situationer i både landbrugs-, grønsags- og vedplantekulturer.

En nærmere analyse af de økonomiske fordele og ulemper ved anskaffelse af automatiske styresystemer til erstatning for mere gængse manuelle styresystemer klarlagde flere vigtige forhold. Som udgangspunkt skal et automatisk styresystem være mindst lige så præcist og pålideligt som manuel styring. Forvolder systemet betydelige skader på kulturerne, som både i planteskole- og grønsagssektoren er højværdiafgrøder, vil eventuelle økonomiske gevinster meget hurtigt blive afløst af helt uacceptable tab. Især i planteskolekulturer kan tabene blive dramatisk store ved selv mindre skader, eksempelvis kan en skade, som fører til 5%’s kassation, betyde et tab på mere end 100.000 kr. ha⁻¹. Opgørelser i projektet har vist, at der ved den nuværende praksis med manuel styring allerede sker betydelige skader (op til 20%) på vedplanterne. En reduktion af disse skader vil derfor have stor økonomisk betydning. Ellers vil den økonomiske fordel ved automatisk styring frem for manuel styring især stige med antallet af kørsler med manuel styring, som kræver en ekstra person til styring, og som automatisk styring vil kunne erstatte. Men også en generel forøgelse af arbejdskapaciteten gennem højere kørehastighed og ved anvendelse af større arbejdsbredder kan øge rentabiliteten. Eksempelvis kan en fordobling – hvilket skønnes absolut realistisk - af arbejdskapaciteten i forbindelse med radrensning i udplantet kål føre til en reduktion af både omkostninger og tidsforbrug på ca. 12%. En øget

driftstid vil desuden frigøre tid til andre værdiskabende opgaver i produktionen. Generelt vil rentabiliteten ved anskaffelse af automatisk styringsudstyr stige jo større årlige arealer, som systemet skal anvendes på. Anskaffelsesprisen får især betydning på arealer mindre end 20 ha, mens anvendelse på 200 ha eller mere årligt gør selv en større forskel (mere end 50.000 kr.) i anskaffelsespris nærmest ubetydelig for de samlede omkostninger. Det er ikke klarlagt i hvilket omfang, at automatisk styring i forhold til manuel styring kan føre til en nedsættelse af tidsforbruget til håndlugning af ukrudt i rækkerne. Den økonomiske fordel er betragtelig, i fald det er tilfældet, fordi lugning er forbundet med store lønudgifter.

Automatisk styring skønnes at kunne bidrage til en reduktion af herbicidforbruget i de fleste grønsagsafgrøder. Eksempelvis i den konventionelle kål dyrkning vil rent ikke-kemiske bekæmpelsesstrategier baseret på radrensningsteknik blive nemmere at gennemføre og sandsynligvis også med en højere arbejdskapacitet. I dyrkningen af konventionelle såløg vil automatisk styring kunne fremme brugen af båndsprøjtning, fordi styringskravene får mindre betydning. Båndsprøjtning forventes at kunne reducere herbicidforbruget med 70 til 80% i løg dyrket på 50 cm's rækkeafstand, hvilket i øvrigt er den mest almindelige rækkeafstand for de fleste grønsagsafgrøder. I planteskolekulturer forventes automatisk styring kun at få en begrænset betydning for herbicidforbruget, da forbruget mest er som jordmidler anvendt tidligt på vækstsæsonen. Håndlugning af ukrudt i rækkerne er ofte nødvendigt, og tidsforbruget til denne opgave kan sandsynligvis halveres, hvis automatisk styringsteknik kan gøre det muligt at radrense tættere på rækkerne.

Automatisk styringsteknologi kan nedsætte energiforbruget til den mekaniske ukrudtsbekæmpelse, hvis teknikken kan øge arbejdskapaciteten ved radrensning. Styringsteknologien kan endvidere gøre det muligt at målrette termisk ukrudtsbekæmpelse, f.eks. flammebehandling, til kun at foregå i selve afgrøderækken, hvorved der kan spares op til 60% af det energiforbrug, som normalt anvendes ved almindelig fladebrænding.

Summary

The need for controlling weeds in outdoor vegetables and nurseries is often great because it is a question of competitively weak crops grown at large row spacing, typically 25-50 cm. The growing pressure on the use of pesticides in agriculture on the part of society and the fact that several herbicides have been removed from the market due to reassessment have led to mechanical weed control gradually gaining a footing. In market gardens and nurseries, traditional inter-row hoeing for controlling weeds in the intervals between the rows is primarily being used.

For a long time, agriculture has wished to have the possibility of automatically steering inter-row cultivators in row crops because this can make mechanical inter-row weed control considerably more rational in several respects. Firstly, because an extra wage cost may be saved in the cases where an extra person is needed for accurate steering of the implement itself besides the tractor driver. Secondly, because the working capacity is expected to increase considerably since the driving speed can be increased as probably also the working width of the implement. Thirdly, because the working environment of the tractor drivers can be improved as compared with the existing steering systems, which require great power of concentration and which therefore are limiting to the daily operating time. Automatic precision steering can contribute to a reduction in the consumption of herbicides by combining inter-row hoeing with band spraying.

The purpose of the project has been to study the perspectives and the possibilities of steering inter-row cultivators automatically with reasonable precision and reliability in connection with mechanical weed control in row crops in market gardens and nurseries. Also, to elucidate the possibilities of using extra equipment fitted to an inter-row cultivator for mechanical control of weeds in the actual crop rows and to quantify the effects of controlling weeds and possible damages to the crops. Furthermore, to set out the relevant applications in outdoor vegetables and nurseries, including assessing the consequences for the consumption of herbicides, the consumption of energy, and the grower's finances.

From the beginning three potential systems were to be compared with manual steering:

- ECO-DAN's LPS (Local Positioning System) Danish vision system (ED)
- Frank Poulsen Aps.'s AUTOPILOT Danish vision system (FP)
- Robert Tucker AEGIS (Agricultural Guided Implement Systems) Australian system based on aluminium row markers and a metal detector (RT)

The Australian system had to be dropped after some initial tests and technical problems. The other systems were tested in trials with transplanted cabbages, sown cabbages, and seeded onion at Research Centre Flakkebjerg and in pricking-out and seed beds of Caucasian fir, common spruce, and bird cherry at Hedeselskabet's Nursery, Brønlundgaard. The tests were carried out at different stages in the development of the crops and at different speeds and

distances from the rows. The project has been characterised by the fact that – contrary to expectation – the steering systems that we were testing were not operating perfectly and that they were continuously developed during the progress of the project. It has therefore been necessary to improvise during the project as regards the original plans. On the other hand, we have been able to follow and in part contribute to the development of the systems, which has provided us with a good insight in the strengths and weaknesses of the systems.

We may conclude that both Danish systems work just as precisely as manual steering under ideal conditions. That is: when there are symmetrical crop plants in visually distinct rows and weeds in limited size and numbers. Both systems have not been reliable, however, when the ideal situation was not present. At the beginning there were problems with light-shade contrasts in the scanning fields, but both manufacturers have solved this during the first year of the project. The major problem has probably been distinguishing between weeds and crop, especially if the weeds have been of the same size as the crop plants. The experiences with both steering systems show that dicotyledonous crop plants need to have a leaf area of 2-5 cm² and to stand at a regular distance in the row for the camera to be able to recognise the row. In arboreal crops and onion, the plants must be higher than 5 cm for the systems to be able to recognise the row and steer the inter-row cultivator just as well as manual steering. Generally, it may also be concluded that the smaller the crop plants, the more sensitive the systems are to irregularities in the rows and to weeds between the rows. If weeds sprout and grow just as fast as the crop plants, supplementary preceding control methods that do not depend on having to distinguish visually between crop and weeds become necessary. A third problem has been asymmetrical crop plants, e.g. lopsided plants (especially at transplanting), overturned plants or plants sown in broad bands. When the steering systems react to such plants, the implement may damage plants in the other rows. Despite these problems there is a perspective in automatic steering systems because it has been elucidated what the systems can and cannot so that they may be incorporated into integrated control strategies. The systems are still being developed, and it is estimated that in a few years they may replace manual steering in a large number of situations in agricultural crops, vegetables, and arboreal crops.

The report contains an analyses of the economic advantages and disadvantages that automatic guidance systems involves as compared to standard manual steering systems. First of all, an automatic system needs to be as precise and reliable as existing manual systems. Automatic systems that cause severe steering errors will easily turn economic advantages into significant and unacceptable losses. Particularly in nurseries, losses can be very high even at a rather small level of damage. However, an assessment of the current status of damages in nurseries caused by steering errors with existing manual systems revealed that sometimes up to 20% of the plants were significantly damaged and thus useless for sale. Generally, the economic benefits of purchasing automatic steering systems in the advantage of manual systems increases with the number of passes that requires an extra person for steering that automatic steering is actually replacing. Also increases in the working capacity through higher driving speeds and/or the use of wider implements will improve profitability. The release of working time that automatic steering may bring makes it possible to add more labour to other productive tasks on the farm. Generally, the profitability of purchasing new equipment for automatic steering increases with the annual area where the

system is going to be used. Purchase costs are particularly important for the overall weed control costs at small areas to be treated, whereas areas of more than 200 ha annually makes purchase costs insignificant. It has not been clarified to which extent automatic steering can replace laborious hand weeding of intra-row weeds, but in case the economic potential for using automatic steering becomes very high.

Automatic steering systems are estimated to make significant reductions in herbicide consumption more possible in most vegetable crops. Notably in conventional cabbage cropping where mechanical weed control is widely used and based on hoeing technology that requires accurate and rational steering. In other vegetable crops, such as direct-sown onion and leek as well as carrots, reliable automatic steering will make band-spraying much more practicable than current steering systems. Band spraying is expected to reduce herbicide consumption by at least 70-80% in vegetables grown in single rows at 50 cm row spacing. Automatic steering is only expected to have minor impact on herbicide consumption in nurseries because most of the usages are soil-applied herbicides applied early in spring. However, automatic steering is estimated to make hoeing operations closer to the plant rows more likely, whereby time consumption for hand weeding might be halved.

Automatic steering can lower fuel consumption for mechanical weed control operations, if the working rate can be increased. In addition, automatic steering is expected to improve current thermal weed control methods by targeting heat application only to the areas, where it is intended to be effective. By achieving that, energy consumption can be lowered by 60% of the usage known for current application methods, such as broad flaming and steaming.

1 Indledning

Behovet for bekæmpelse af ukrudt i frilandsgrønsager og planteskoler er ofte stort, fordi der er tale om konkurrencesvage kulturer, der dyrkes på større rækkeafstande, typisk 25-50 cm. Ukrudtet har derfor gode vækstbetingelser og kan ved utilstrækkelig bekæmpelse forvolde betydelig skade i form af betragtelige nedgange i både udbytte og kvalitet. Ukrudtet konkurrerer med kulturplanterne om adgangen til vand, næringsstoffer og lys, og desuden besværliggøres optagningen af kulturplanterne.

Samfundets ønske om en reduktion i pesticidanvendelsen i jordbruget samt det faktum, at flere herbicider er fjernet fra markedet på grund af revurderingen, har medført, at mekanisk ukrudtsbekæmpelse gradvist vinder mere og mere indpas. I gartnerier og planteskoler er det først og fremmest traditionel radrensning til bekæmpelse af ukrudt i rækkemellemrummene, som anvendes. Flere producenter er også begyndt at anvende strigling, således at ukrudtet både mellem rækkerne og i rækkerne bekæmpes i én arbejdsgang. Metoden har været lovende i kulturer med gode selektivitetsforhold, hvilket er, når en god ukrudtsbekæmpelse kan opnås uden samtidig at skade kulturen væsentligt. Det gælder eksempelvis for kulturer som udplantede kål og selleri samt en række vedplantekulturer enten som stiklinger eller priklinger. Strigling har imidlertid to væsentlige ulemper, dels at kulturen kan skades uacceptabelt, dels at kun meget småt ukrudt bekæmpes effektivt, hvorfor timing og vejrforhold er meget afgørende for resultatet. Radrensning derimod giver generelt større sikkerhed i ukrudtsbekæmpelsen, fordi behandlingstidspunktet ikke er nær så afgørende som ved strigling. Radrenseren bekæmper imidlertid ikke ukrudtet i selve kulturrækkerne, hvilket har foranlediget flere avlere til at udstyre radrenseren med ekstraudstyr, som f.eks. børster og skrabeplade, til at klare denne opgave. I Holland er der opnået udmærkede resultater med ekstraudstyr som fingerhjul, skrabeplade eller børster til bekæmpelse af ukrudt i rækken i stedsegrønne vedplantekulturer i planteskolesammenhæng, men den anvendte manuelle styringsteknik var ikke tilstrækkelig nøjagtigt til at undgå skader (Looman *et al.*, 1999).

Her i landet dyrkes i alt ca. 10.500 ha med frilandsgrønsager med ærter, kål, gulerødder, løg, porre og salat som de vigtigste afgrøder (Henriksen *et al.*, 2002). Frilandsgrønsager dyrkes ofte på rækkeafstande på 50 cm, hvor det er muligt at anvende mekanisk ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrummene, så længe kulturplanterne kan tåle kørsel imellem rækkerne. Dertil kommer brug af lugning, der kan være omfattende i nogle afgrøder (Ørum og Christensen, 2001).

I dyrkningen af frilandsgrønsager anvendes herbicider i det omfang, de er tilladte, som både jordmidler og kontakt- og systemiske midler (Henriksen *et al.*, 2002). Et ekspertsøn over herbicidforbruget anslår behandlingshyppigheden til at være mellem 1,0 og 1,9 som gennemsnit for hele grønsagsarealet i årene 1996-1999 (Henriksen *et al.*, 2002). Der er imidlertid store variationer i herbicidforbruget mellem de enkelte afgrøder. Udsåede løg kan således have en behandlingshyppighed på op til 5,0 for herbicider, hvorimod kål og salat har en behandlingshyppighed væsentligt under 1 (Henriksen *et al.*, 2002).

Planteskoleplanter dyrkes på rækkeafstande, der er meget mindre end i frilandsgrønsager. Således er 60% af planteskolernes totale areal på 2171 ha udlagt i bede med 4-5 rækker typisk på en rækkeafstand af 25-30 cm. Der er flere grunde til, at planterne står på så små rækkeafstande. Dels reguleres væksten gennem rækkeafstanden, dels er mikroklimaet omkring planterne mere optimalt for væksten, dels bruges mindre jord, og endelig er maskinerne indkøbt til små rækkeafstande. Ukrudtsforebyggelsen begrænses af langvarige sædskifter, hvor planterne står flere år på samme bed. Derfor er en bekæmpelse hele året meget vigtig. Mekanisk bekæmpelse anvendes i stor udstrækning, når vejret tillader det. Ørum og Christensen (2001) vurderer på basis af tal fra DEG, at der bruges mellem 600-1100 arbejdstimer pr. ha til at renholde planteskolekulturer med maskiner og håndkraft. Den mekaniske ukrudtsbekæmpelse består overvejende af radrensning, som udføres løbende gennem vækstsæsonen. Dertil kommer supplerende brug af andre metoder som lugning, strigling, fræsning og lignende. Herbiciderne bruges forud for vækstsæsonen som spirehæmmende midler og dels gennem vækstsæsonen som afskærmet sprøjtning. Behandlingshyppigheden for herbicider er som kvalificeret skøn vurderet at være mellem 0,7-1,4 i planteskoler (Andersen *et al.*, 2002). Herbiciderne, der er godkendt til formålet, består af jordmidler, systemiske midler og kontaktmidler (Andersen *et al.*, 2002).

Muligheden for at kunne styre radrensere automatisk i rækkeafgrøder har længe været ønsket i jordbruget, fordi det i flere henseender kan gøre den mekaniske ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrummene betydelig mere rationel (Søgaard & Melander, 2000). For det første, fordi en ekstra lønudgift kan spares i de tilfælde, hvor der foruden traktorchaufføren, er behov for en ekstra person til finstyring af selve redskabet. For det andet, fordi arbejdskapaciteten forventes at kunne øges væsentligt, da fremkørselshastigheden kan øges og sandsynligvis også redskabets arbejdsbredde. For det tredje, fordi arbejdsmiljøet for traktorchaufførerne kan forbedres i forhold til de eksisterende styresystemer, som kræver stor koncentrationsevne og derfor er begrænsende for den daglige driftstid.

Automatisk præcisionsstyring kan være med til at reducere herbicidforbruget ved at kunne kombinere radrensning og båndsprøjtning. I landbruget har besparelsen i herbicidforbruget ved radrensning og båndsprøjtning i flere undersøgelser været på 60-70% i forhold til almindelig bredsprøjtning (Irla, 1989, 1995; Pleasant *et al.*, 1994). Rasmussen (1996) angiver, at en besparelse på op til 80% i herbicidforbruget er muligt, og har endvidere beregnet, at det i mange situationer kan være økonomisk fordelagtigt at skifte fra bredsprøjtning til radrensning og båndsprøjtning i roer og mange grønsager primært på grund af relativt store herbicidomkostninger ved bredsprøjtning.

2 Materialer og Metoder

2.1 Formål

At undersøge perspektiverne for anvendelse af automatisk præcisionsstyring af redskaber til mekanisk ukrudtsbekæmpelse i rækkedyrkede kulturer i gartnerier og planteskoler. Projektet indeholder følgende delformål:

1. at undersøge mulighederne for at kunne styre radrensere automatisk med en rimelig præcision og pålidelighed i forbindelse med mekanisk ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrummene i række kulturer
2. at klarlægge mulighederne for at anvende automatisk præcisionsstyring til styring af ekstraudstyr påmonteret en radrenser til mekanisk bekæmpelse af ukrudt i selve kulturrækkerne
3. at kvantificere bekæmpelseseffekterne mod ukrudt og eventuelle kulturskader ved anvendelse af mekanisk ukrudtsbekæmpelse baseret på automatisk styringsteknik
4. at redegøre for relevante anvendelsesmuligheder for automatisk præcisionsstyring af redskaber til ukrudtsbekæmpelse i gartnerier og planteskoler, herunder at vurdere konsekvenserne for herbicidforbruget i de to sektorer samt beregne energiforbrug og økonomiske konsekvenser for avleren ved anvendelse af mekanisk ukrudtsbekæmpelse baseret på automatisk styringsteknik

Projektets eksperimentielle arbejde vil blive koncentreret omkring følgende hypotese:

Automatisk styringsteknik kan gøre det muligt at udføre en rationel, effektiv og pålidelig mekanisk ukrudtsbekæmpelse såvel mellem som i rækkerne i rækkedyrkede kulturer i gartnerier og planteskoler.

I projektet er det valgt at foretage undersøgelserne i kål (udplantet/sæede), såløg, fuglekirsebær og nordmannsgran.

2.2 De automatiske styresystemer

Radrensning med eller uden ekstraudstyr til bekæmpelse i rækken er generelt en metode, som kræver nøjagtig og pålidelig styring af redskabet. Styringsnøjagtigheden er især påkrævet, når der renses meget tæt på rækkerne, hvilket ofte er ønskeligt for at begrænse det ubearbejdede bånd omkring planterne (Melander & Hartvig, 1997). Forud for projektet var der i 2000 tre helt nye automatiske styresystemer under afprøvning med henblik på salg fra foråret 2001. To danske systemer er baseret på optisk genkendelse af planterækker eller jordriller, og et australsk system baseret på detektering af metalmarkører placeret i jorden.

Efter planen skulle vi afprøve disse tre automatiske styresystemer og sammenligne dem med manuel styring. Trods forsikringer om det modsatte, kunne ingen af systemerne leveres til det aftalte tidspunkt, så forsøgsstarten i 2001 måtte udsættes. Efterfølgende viste det sig også, at systemerne heller ikke var færdigudviklede. Robert Tucker fra Australien havde planlagt et to måneders ophold i Danmark i maj – juni 2001 for at færdigudvikle og afprøve sit system (AEGIS). Systemet bestod grundlæggende af en markørklægger (aluminiumstape) og en metaldetektor. En prototype af det australske system blev fremvist ved Forskningscenter Flakkebjerg i september 1999, hvor der blev kørt med en radrenser i vinterraps sæet på 50 cm's rækkeafstand. Styringsnøjagtigheden virkede imponerende under demonstrationen. En særlig interessant detalje ved AEGIS er, at markørerne kan fremstilles med forskellig holdbarhed i jorden, således at de kan anvendes til enårige kulturer, hvor de i løbet af få måneder vil opløses, samt til flerårige kulturer, hvor de vil kunne anvendes i en udgave med en flerårig holdbarhed. Robert Tucker løb ind i mange tekniske problemer efter ankomsten til Danmark i maj 2001, og efter én måned rejste han hjem uden at have fået systemet til at virke.

ECO-DAN's og Frank Poulsens systemer var heller ikke færdigudviklede, og begge systemer har løbende krævet justeringer. Disse to systemer har vi dog kunnet teste i modificeret omfang. En teknisk beskrivelse kan ses i tabel 1, og yderligere oplysninger kan findes på de angivne internetadresser.

Tabel 1. Teknisk beskrivelse af de to automatiske styresystemer brugt i forsøgene. Begge systemer er og bliver fortsat løbende udviklet.

Table 1. Technical description of the two automatic steering systems used in the trials. Both systems are and will continue to be under development.

Fabrikat	Kamerasystem	Indstillinger ved opsætning	Styresystem (aktuator)
Frank Poulsen Aps. Yderligere detaljer findes på: http://www.fp-engin.dk	Kameraet er en liniescanner, der scanner linier på tværs af rækken. Computeren beregner centrum for udslaget på baggrund af grønne plantedele og størrelsen af planten. Størrelse og form kan på sigt bruges til at frasortere udslag på ukrudtsplanter forskellig fra en defineret størrelse og form på afgrødeplanterne. Halvautomatisk lysstyring (2002).	a. Hastighed b. Planteafstand c. Plantestørrelse d. Kamerahøjde	En hydraulikventil styrer en oliecyllinder, der er forbundet med redskabets styrehjul, styreskiver eller traktorens servostyring.
ECO-DAN Yderligere detaljer findes på: http://www.eco-dan.com	Digital farvekamera (CMOS). Computeren har printkort med Digital Signal Processor baseret på CAN-BUS netværk) beregner på baggrund af 25 billeder pr. sekund en liniestruktur. Ukrudt kan ikke skelnes, men så længe rækkestrukturen kan identificeres, har det ikke indflydelse.	a. No-signal b. Rækkeafstand c. Kamerahøjde d. Regulering e. Aktuator f. Dødbånd g. Ind-signaler h. Redskab pos.	1) En kraftig dobbeltvirkende hydraulisk ventil på traktorens trepunktsophæng, som sideforskyder hele redskabet. 2) Et elektrisk stempel, som er forbundet med redskabets styrehjul eller styreskiver.

2.3 Forsøgsplaner

2001 A. Frilandsgrønsager på Forskningscenter Flakkebjerg (JB 6-7 med vanding)

Forsøgsdesign

Fuldstændig randomiserede 2-faktor blokforsøg med 4 blokke nettoparcelstørrelse på 2,4 x 10 m - 4 afgrøderækker med 60 cm afstand.

Kulturer

Udplantede spidskål - 2 blokke (*Brassica oleracea* L. var. *conica*) og hvidkål - 2 blokke (*Brassica oleracea* L. var. *alba*) ca. 50.000 pl./ha såløg (*Allium cepa*) ca. 200.000 pl./ha.

Forsøgsfaktorer: se under 2001B.

2001 B. Vedplankulturer på Hedeselskabets Planteskole (JB 2 med vanding)

Forsøgsdesign

Splitplot 2-faktor blokforsøg med 4 blokke med en nettoparcelstørrelse på 1,2 x 10 m i fuglekirsebær og nordmannsgran i 5-rækkede bede med 25 cm rækkeafstand.

Kulturer

Forsøgene var placeret på Hedeselskabets planteskole i Vojens, hvor fuglekirsebær (*Prunus avium*) blev sået i 5 rækker med en forventet plantetæthed i rækken på 50 planter pr. meter bed, og nordmannsgran (*Abies nordmanniana*) blev sået i 5-rækker svarende til en forventet plantetæthed i rækken på 150 planter pr. meter bed. Aktuelt blev der kun udført indledende kørsler i prikbejde af rødgran og nordmannsgran.

Forsøgsfaktorer (fælles for A og B)

a) Renseafstand til kulturplanterne (justering af radrenseren i forhold til renseafstand er udført med skrabepindene)

1. 5 cm
2. 2,5 cm (0,5 cm i såløg)

b) Styresystem (kørselshastighed 5 km/t)

1. Manuel styring (MS)
2. ECO-DAN LPS (ED)
3. Frank Poulsen Auto Pilot (FP)
4. Robert Tucker (AEGIS) (udgæet)

Supplerende behandlinger i kål og vedplanter, som ikke indgår i faktorkombinationerne:

1. Radrensning i kål med skrabepinde og manuel styring
 - erstattet af 2 x radrensning i kål med 8 km/t og manuel styring
2. Radrensning i kål med skrabepinde og ECO-DAN-styring
 - erstattet af 2 x radrensning i kål med 8 km/t og ECO-DAN styring
3. Radrensning i kål med skrabepinde og Frank Poulsen styring
 - erstattet af 2 x radrensning i kål med 8 km/t og Frank Poulsen styring
4. Radrensning i kål med skrabepinde og AEGIS-systemet - udgæet

2002 A. Frilandsgrønsagerne på Forskningscenter Flakkebjerg (JB 6-7 med vanding)

Forsøgsdesign

Split-plot 2-faktor blokforsøg med 3 blokke, nettoparcelstørrelse på 2,5 x 40 m i udsæede hvidkål og løg - 5 rækker med 50 cm afstand.

Delplottene er opdelt i en del med renholdte rækker (10 m) og en del med naturligt ukrudtstryk.

Langs med forsøget etableredes øvebaner til indstilling af styresystemet og radrenseren og til bestemmelse af muligt starttidspunkt (afgrødestørrelse), inden der kørt ind i selve forsøget.

Kulturer

Løg (*Allium cepa*) ca. 200.000 pl./ha

Hvidkål (*Brassica oleracea* L. var. *alba*) 100.000 pl./ha

Forsøgsfaktorer, se under 2002B

2002 B. Vedplantekulturer på Hedeselskabets Planteskole (JB 2 med vanding)

Forsøgsdesign

Splitplot 2-faktor blokforsøg med 4 blokke
parcelstørrelse på 1,2 x 10 m i fuglekirsebær (*Prunus avium*) og nordmannsgran (*Abies nordmanniana*) i 5-rækkede bede med 25 cm rækkeafstand.

Kulturer

Fuglekirsebær (*Prunus avium*) blev sået i 5 rækker svarende til en forventet plantetæthed i rækken på 50 planter pr. meter bed, og nordmannsgran (*Abies nordmanniana*) blev sået i 5-rækker svarende til en forventet plantetæthed i rækken på 150 planter pr. meter bed.

Forsøgsfaktorer (fælles for A og B)

Faktor a - helplot. Styresystem:

1. Manuel styring (MS)
2. ECO-DAN LPS (ED)
3. Frank Poulsen Auto Pilot (FP)

Faktor b - delplot. Hastighed:

1. 5 km/t
2. 8 km/t

Bemærk at undervejs er alle planerne løbende justeret som beskrevet nærmere i næste afsnit.

2.4 Projektforløb

2001 A - grønsager

Fra starten af forsøgsperioden var der problemer, fordi fabrikkerne af de tre systemer, vi skulle afprøve, ikke leverede udstyret til den aftalte tid. Derfor måtte vi udsætte plantningen af kålene og såningen af løgene til d. 8.-11. juni. På grund af heldige vejrforhold fik dette ikke betydning for planteetableringen, dog var kålene rigeligt store til udplantning. Den sene levering betød, at der

ikke var tid til at afprøve systemerne ordentligt, inden selve behandlingerne skulle udføres.

Bortset fra den forsinkede udplantning blev forsøgene anlagt efter planen, men udplantningen af kål og såningen af løg skete som nævnt først den 8. og 11. juni. Den første behandling i kålene blev udført 13 dage efter udplantning med en testafstand på 2,5 cm og 5 cm til rækken ved 5 km/t og 2,5 cm ved 8 km/t. Denne justering af forsøgsplanen skyldtes, at kun skrabepindene kunne bruges til at justere afstanden til rækken. Plantemaskinen var til 60 cm rækkeafstand, mens radrenseren var bygget til 50 cm rækkeafstand. Der var derfor ikke skærbredde nok på radrenseren til at justere afstanden til rækken med skærene. Anden behandling 28 dage efter udplantning blev udført tilsvarende. Disse blev udført, dels i parceller der var radrenset ved første behandling, og dels i parceller der ikke tidligere var rensed (oprindeligt til AEGIS-systemet) – det vil sige med store ukrudtsplanter mellem rækkerne (billede 1). Nogle af leddene med ED er ikke udført begge gange, fordi systemet ikke fungerede stabilt. Afsluttende er udbytterne gjort op, men da ikke alle behandlinger er udført efter planen, er det heller ikke alle udbytter, der er sammenlignelige mellem de forskellige systemer.



Billede 1. Ukrudtstryk ved kørsel d. 6.07.01 (1. overkørsel).

Picture 1. Weed pressure at treatment on 06.07.01 (1st passage).

I løgene blev det forsøgt at køre 28 dage efter såning, da løgene var ca. 5 cm høje (billede 2). ED kunne ikke identificere rækken på dette stadium. FP kunne efter mange justeringer i perioder identificere rækken, men ikke stabilt. Derfor blev første kørsel i løgene udsat til 66 dage efter såning, hvor løgene var ca. 20 cm høje. Efter de mange justeringer undervejs kørte begge systemer rimeligt stabilt ved denne behandling.

2001 B - vedplantekulturer

Den forsinkede leverance af styresystemerne betød, at fuglekirsebærplanterne blev så store i mellemtiden, at det blev besluttet, at Hedeselskabet selv sørgede

for ukrudtsrensningen i fuglekirsebærparcellerne. Denne del udgik derfor af forsøget.

ED- og FP-systemerne blev afprøvet i nordmannsgran-parcellerne i august måned 2001. Det skal her understreges, at hverken ED- eller FP-systemet oprindeligt var fremstillede til kørsel i træer.

ED udstyret var monteret på en radrenser bagmonteret på en traktor. Under afprøvningen hos Hedeselskabet var der telefonisk kontakt til ED, hvor EDs forslag til indstillinger blev fulgt.

FP-systemet blev monteret umiddelbart foran forhjulene på en Fendt-redskabsbærer og var koblet til styring af forhjulene. Afstanden fra kamera til jord var ca. 55-60 cm, men kameraet kunne justeres eller flyttes undervejs, hvis afstanden ikke var optimal i forhold til planterne. Hedeselskabet havde bekostet tilpasningerne af forhjulsstyringen på en Fendt-redskabsbærer med undermonteret radrenser. Frank Poulsen foretog selv installation af deres udstyr og optimering af dette.



Bil 1 ede 2. Løgrækker 28 dage efter såning d. 21.06.01.

Picture 2. Onion rows 28 days after sowing on 21.06.01

Ved kørslen var plantetætheden i rækkerne mellem 10 til 30 planter pr. meter løbende række og plantehøjden ca. 3-5 cm. Nordmannsgran sætter kun en krans af kimblade første år (kransen er 2-3 cm i diameter), og planterne fylder derfor meget lidt i rækken.

Kørslen med begge systemer viste, at fremspiringen og væksten af nordmannsgran var for lille til, at kameraet kunne detektere planterækken. Kørsel i disse parceller blev forsøgt med begge systemer men måtte opgives. Det blev derfor besluttet at køre med ED- og FP-systemerne i prikledede af rødgran, som stod i 5-rækkede bede med 25 cm mellem rækkerne. Prikleplanterne var ca. 10-15 cm høje. Da disse bede var en del af Hedeselskabets produktion, blev der brugt en fastmonteret målestok og ikke anvendt radrenerskær ved kørsel med de 2 systemer, hvor hastigheden var 2 km/time. Der blev derfor heller ikke kørt med ekstraudstyr.

På baggrund af de opnåede erfaringer hos Hedeselskabet optimerede FP derefter yderligere på udstyret til en afsluttende kørsel i 2001 i prikledede af nordmannsgran. I november blev der kørt med FP systemet i 2-årige nordmannsgran priklet i 5-rækker med 25 cm mellem rækkerne og 6-7 cm mellem planterne i rækken. Planterne var ca. 10 cm høje. Da det ikke var muligt at køre i forsøgsparcerne, som beskrevet ovenfor, men i Hedeselskabets produktionsbede, blev der ikke anvendt radrenerskær ved kørslerne.

2002 A - grønsager

Det var forventet, at begge styresystemer ville være køreklar til vækstsæsonen 2002. På baggrund af erfaringerne fra 2001 havde begge firmaer i løbet af vinteren arbejdet på at forbedre systemerne. De havde stillet i udsigt, at vi uden problemer ville kunne udføre de planlagte forsøg i 2002. Det viste sig dog hurtigt, at FP havde tekniske problemer, når vi kom ud i marken. Ved første forsøg på at køre i hvidkål 27 dage efter såning havde kålene 2 – 3 løvblade og var 4 – 5 cm høje (billede 3). Der var ukrudtsplanter mellem rækkerne, der var af samme størrelse eller større (ca. 10 pl./m²). ED kunne køre efter rækkerne, men reagerede på ukrudtsplanterne og var ikke præcis. FP reagerede på næsten alle ukrudtsplanter, og trods forsøg på justeringer i marken opgav vi at køre med dette system på dette tidspunkt. FP parcellerne blev radrenset manuelt i stedet.

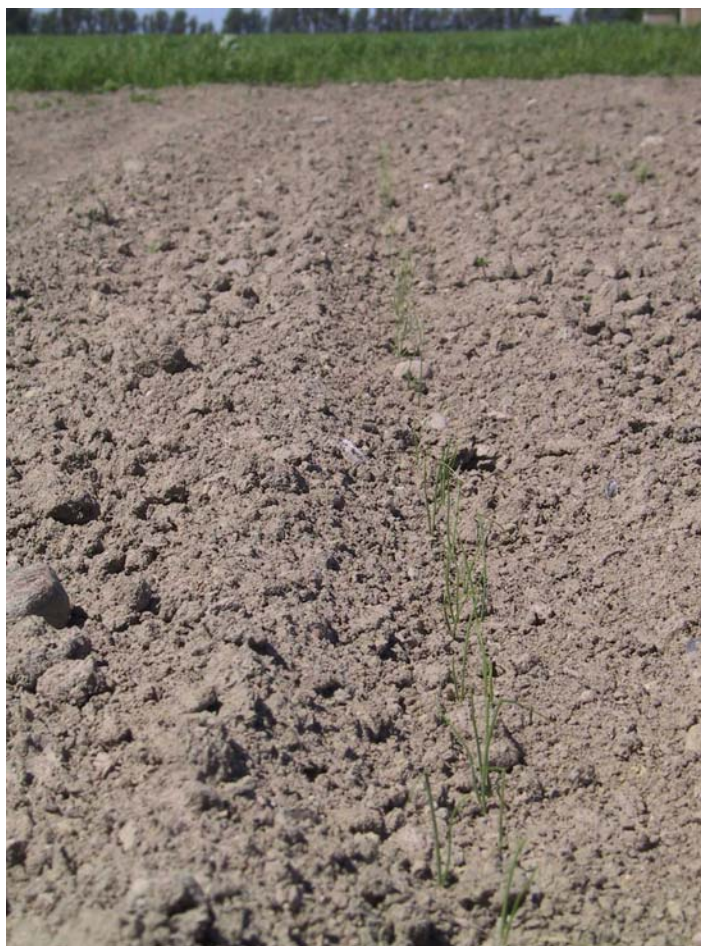


Billede 3. Kål ved kørsel d. 3.06.02, 27 dage efter såning.

Picture 3. Cabbage at treatment on 03.06.02, 27 days after sowing.

27 dage efter såning var løgene 3-5 cm høje og stort set ukrudtsfrie efter en vellykket gasbrænding på løgenes fremspiringstidspunkt (billede 4). Vi forsøgte også at køre med begge systemer i løgene på dette tidspunkt, men ingen af dem kunne identificere rækkerne.

43 dage efter såning prøvede vi igen at køre i begge afgrøder. I kålene, som nu havde 4-6 løvblade og var 10 – 15 cm høje, håndlugede vi midterrækken, som systemerne styrede efter, men alligevel var der så store udslag på ukrudt mellem rækkerne, at vi opgav at køre i kålene for ikke at ødelægge resultaterne af første kørsel. På samme tidspunkt prøvede vi igen i løgene, som var 10 – 15 cm høje. De relativt få ukrudtsplanter var nu væsentligt større end løgplanterne, og dem reagerede FP systemet voldsomt på. Som følge heraf fik vi næsten totalt ødelagt 4 parceller og udsatte derfor de resterende kørsler for at afvente forbedringer i FP's software. Frank Poulsen forsøgte at få softwaren til at størrelsesdifferentiere planterne. I de følgende uger måtte vi to gange opgive at køre på grund af regn, og da ukrudtet blev mere og mere dominerende, håndlugede vi i og omkring midterrækken for at undgå for meget støj fra ukrudtet. Derfor blev første reelle kørsel i løgene først foretaget 66 dage efter såning, hvor løgene havde 30-40 cm lange blade. På grund af skadede parceller fra første forsøg var der kun plads til at køre med 5 km/t i løgene. Her fungerede begge systemer rimeligt, dog kunne der registreres tilfælde, hvor systemerne reagerede på asymmetriske planter (væltede toppe). Dette problem arbejder FP efterfølgende på at finde en systematisk løsning på.



Bil lede 4. Løg ved forsøg på kørsel d. 3.06.02, 27 dage efter såning.

Picture 4. Onion at attempted treatment on 03.06.02, 27 days after sowing.

2002 B - vedplantekulturer

Systemerne var, som nævnt under 2002A ovenfor, blevet justeret og optimeret af firmaerne i løbet af vinteren.

I juni blev der kørt med begge systemer i sammenligning med manuel kørsel i forsøgsparcellerne hos Hedeselskabet.

Ved kørslen var plantetætheden i fuglekirsebær gns. 10 planter pr. løbende meter række svarende til 50 planter pr. meter bed. Plantestørrelsen var 10-15 cm med ca. 3 sæt blade. I nordmannsgran var plantetætheden 15 planter pr. meter række svarende til 75 planter pr. meter bed. Plantehøjden var ca. 5 cm, og planten bestod af en krans af kimblade. På grund af stor nedbør forud blev der ikke kørt med radrenserkær. I stedet blev der monteret en styrepind, som systemets nøjagtighed blev aflæst ud fra. Hastighederne var 2 og 6 km/t. Kørslerne med de 2 systemer viste, at plantemassen skulle have en vis størrelse, inden systemerne kunne anvendes effektivt i bedene. Der var forringet signal hele bedet igennem hos nordmannsgran sandsynligvis på grund af de meget små planter.

I 2002 blev der udenfor selve forsøget sået havre i den yderste række med planteskolekulturer, hvor kornet kom op inden kulturplanterne. Ved hjælp af

FP systemet kunne styres efter kornrækken i starten af kulturperioden - endda inden fremspiring af kulturplanterne. Kornrækken blev nedvisnet, da kulturplanterne havde tilstrækkelig størrelse til at køre efter. Metoden skal optimeres for at hindre konkurrence på kulturplanterne. Statsskovenes Planteavlsstation har brugt karse som styrerække til hjælp i den manuelle radrensning (Damm, 2002).

Alle indstillinger af ED-systemet i forbindelse med kørsel i vedplantekulturer er foretaget af personel fra DJF. ED har ikke været til stede under de enkelte undersøgelser.

2.5 Opgørelse af resultater

2001 A - grønsager

I kål er skader på afgrøden opgjort ved at tælle kålplanterne i de to midterækker i hver parcel før og efter hver behandling. Desuden er kålenes friskvægt og antal opgjort den 8. august for at sammenligne skader på overlevende planter. I spidskål er der tale om salgbar udbytte, mens hvidkål ikke var færdig udviklede. Tidligere erfaringer har vist, at hvis der går lang tid mellem behandling og opgørelse, kan eventuelle forskelle udjævnes. Ukrudtets friskvægt og antal er opgjort den 8. august i et 10 cm bredt bånd i hver række, svarende til 2 m² i hver parcel.

I løg er skader på afgrøden bestemt ved at måle spring i rækkerne (>5 cm) i de to midterækker i hver parcel før og efter hver behandling. Desuden er løgenes friskvægt opgjort den 10. oktober for at sammenligne skader på overlevende planter. Dette var ikke salgbar udbytte, da løgene ikke blev fuldt udviklede på grund af den sene såning. Løgene var kemisk og manuelt renholdte, og derfor er ukrudt ikke registreret i denne afgrøde.

2001 B - vedplantekulturer

I vedplantekulturerne blev der ikke anvendt radrennerskær, men en målestok blev fastspændt til radrenseren, og nøjagtigheden af styringen blev registreret som variationen omkring en fastsat afstand fra kulturrækkens midte til stokkens markering/spor i jorden. Afstanden til rækken blev valgt så tæt på rækken, som det skønnedes muligt, og en samtidig lille afstand og variation omkring denne er således et udtryk for stor styringsnøjagtighed. Selve sårækken var 4 cm bred, og den tætteste afstand til planterne i hver side var derfor 2 cm fra rækkens midte. Registreringerne foregik ved 2 hastigheder, 2 og 6 km/time.

Da der ikke blev anvendt radrennerskær, blev der ikke registreret skader eller bortfald af kulturplanter i forsøgsparcellerne.

2002 A - grønsager

I kål er skader på afgrøden opgjort ved at tælle kålplanterne i de to rækker i hver parcel før og efter hver behandling. Desuden er kålenes friskvægt og antal opgjort den 14. august for at sammenligne skader på overlevende planter. Dette var ikke salgbar udbytte, da kålene ikke var fuldt udviklede. Ukrudtets friskvægt er opgjort den 14. august i et 10 cm bredt bånd i 2 x 10 m række, svarende til 2 m² i henholdsvis den håndlugede del og den ikke håndlugede del i hver parcel.

I løg er skader på afgrøden bestemt ved at måle spring i rækkerne (>20 cm - dårligere fremspiring end i 2001, betød flere naturlige spring i rækkerne) i de to midterækker i hver parcel før og efter hver behandling. Desuden er løgenes og ukrudtets friskvægt samt løgenes antal opgjort den 12. september for at sammenligne skader på overlevende planter. Løgenes vægt var salgbart udbytte af fin kvalitet.

Resultaterne fra både kål, løg og ukrudt i rækkerne er analyseret ved almindelig variansanalyse i SAS (Anon., 1987). Data for plantetab i kål og spring i løgrækkerne er logaritme-transformerede for at opnå varianshomogenitet i analyserne.

2002 B - vedplantekulturer

I fuglekirsebær og nordmannsgran blev styringsnøjagtigheden ved de 2 systemer ED og FP i sammenligning med MS igen registreret som variationen omkring en given afstand fra en rækkes midte i cm samt hvor tæt på rækken, det var muligt at holde den givne afstand. Resultaterne blev analyseret ved variansanalyser. Plantetætheden og plantestørrelse blev registreret i et repræsentativt udsnit af bedene.

Da der ikke blev anvendt radrenerskær, blev der ikke registreret skader eller tab af kulturplanterne i forsøgsparcellerne.

For at få et overblik over, hvor megen skade, der kan ske ved manuel radrensning, blev der registreret skader i stilkeg og i nordmannsgran i bede udenfor forsøgsparcellerne hos Hedeselskabet i 2002. Skaderne med radrenerskær sker typisk ved påkørsel af rodhalsen lige under jordoverfladen. Påkørslen ødelægger barken, som efterfølgende danner kallus over såret. Planter med skader på rodhals skal frasorteres ifølge sorteringsreglerne fra Dansk Planteskolejerforening.

Registreringen i stilkeg skete ved besigtigelse i marken, hvor jorden omkring rodhalsen blev fjernet hos 2-årige egeplanter (betegnes 2/0) på 5-rækkede bede med 25 cm's afstand mellem rækkerne. Der blev registreret i 5 bede, som var 200 meter lange, og med hver 5-række, og i alt blev der registreret skader i 25 meter række.

Registrering af skader fra manuel kørsel hos nordmannsgran blev foretaget på planter, der blev taget op, og hvor rødder og rodhals blev vasket inden registrering. Nordmannsgranerne havde stået 2 år på frøbed uden radrensning. Planterne var derefter blevet udpriklet med 75 planter pr. meter bed i 5 rækker med 25 cm afstand mellem rækkerne i 2001. Hedeselskabet leverede 150 planter (betegnes 2/1s) usorteret og optaget tilfældigt fra 2 marker med i alt 16 km bed (Karlsson, B., pers. medd.).

Generelt for 2001A, B og 2002 A, B

Det skal bemærkes, at resultater vedrørende udbytter og skader på kulturerne, som præsenteres i resultatafsnittet, kun er vist for de sammenligninger mellem systemerne og manuel styring, hvor det på baggrund af forsøgsforløbet er rimeligt at foretage en sammenlignende analyse. Da undersøgelserne blev udsat for en række ændringer undervejs er det ret begrænset, hvad der med rimelighed har kunnet sammenlignes uden, at forsøgsleddenes individuelle historier har påvirket resultaterne for meget.

2.6 Fejl – fejl kilder og løsninger

For begge de automatiske systemer gælder, at når de har fejlet har nogle af fejlene efterfølgende kunnet rettes ved justeringer i de respektive computere, mens der for andre fejl fortsat arbejdes på løsninger. Typisk har fejlene været:

- ***Lys – skygge***
Ved skarpt sollys bliver der stærke kontraster mellem belyste og skyggede dele af billedfeltet, som gør det vanskeligt at identificere den grønne række. Nedjusteres følsomheden bliver der færre valide billeder, og rækkeidentifikationen bliver også dårlig. Dette er et dilemma, som delvist løses ved at bruge kunstigt lys. FP har udviklet en automatisk justering af følsomheden. ED har løbende optimeret kamerareguleringen og har derved minimeret problemet.
- ***Selvsving***
Ved første kørsel i 2001 gik FP systemet i selvsving (større og større udslag). Dette kunne justeres i computeren og er ikke oplevet siden.
- ***Spiring mellem rækker***
Specielt ved små rækkeafstande (25 cm) oplevede vi, at ED systemet sprang på tværs af rækkerne. Når systemet kom ud af kurs, kom der to rækker ind i billedet, og i visse tilfælde vælger systemet at fortsætte efter den forkerte række! Det er uklart, om dette problem er løst. ED anbefaler i visse tilfælde at bruge et to-kamera system, som væsentligt reducerer risikoen for at komme ud af kurs. Dette system har vi ikke afprøvet. Samtidig anbefaler firmaet at indsnævre billedet ved at reducere kamerahøjden, så risikoen for at fange naborækker reduceres, men dette var ikke muligt på den styreramme, der blev brugt i dette projekt.
- ***Reaktion på ukrudt mellem rækkerne***
Begge systemer har haft problemer, når der har været ukrudt mellem rækkerne. ED forudsætter en tydelig rækkestruktur, det vil sige, at det er nødvendigt at kunne bekæmpe det første ukrudt, inden der kan styres efter rækkerne. Det samme gælder til dels for FP, men her arbejder man på at udvikle software, der kan frasortere planter (ukrudt), der har en anden størrelse eller form end en defineret afgrøde.
- ***Reaktion på skæve/asymmetriske planter***
Kål, som er plantet skævt, eller løg, der er asymmetriske eller væltede, har forårsaget reaktion ved begge de automatiske styresystemer (billede 5).



Bil lede 5. Udplantede kål, som er skæve, og spring i rækkerne gør det meget usikkert at anvende automatisk styring.

Picture 5. Transplanted cabbages that are asymmetric and gaps in the rows make the use of automatic steering very unreliable.

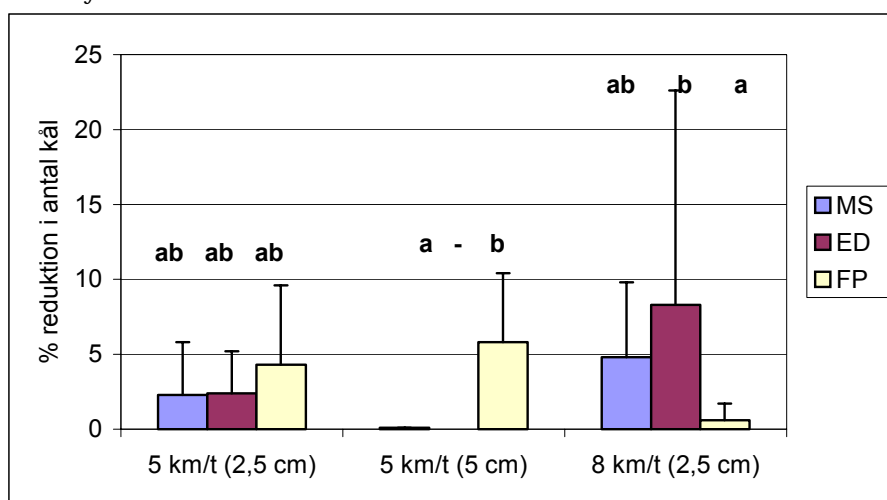
Tilsvarende i nypriklede vedplantekulturer, der er priklet ud i ca. 5-10 cm størrelse, og hvor toppen er overhængende. Dette er specielt uheldigt, når der er stor afstand mellem afgrødeplanterne (få planter at styre efter), fordi der kun styres efter én ud af f.eks. 6 eller 12 rækker i praksis. ED har en løsning på dette i form af et system med to kameraer, der følger to forskellige rækker. Dette system har vi dog ikke haft til rådighed. FP arbejder på at udvikle software, der identificerer stængelbasis på afgrødeplanterne, og derved undgår reaktion på skæve planter. Dette software har vi dog ikke set fungere endnu. For begge systemer gælder, at påvirkningen af enkeltplanter kan reduceres ved at vinkle kameraet, så et længere rækkestykke kommer i billedfeltet.

3 Resultater

3.1 Forsøgsresultater

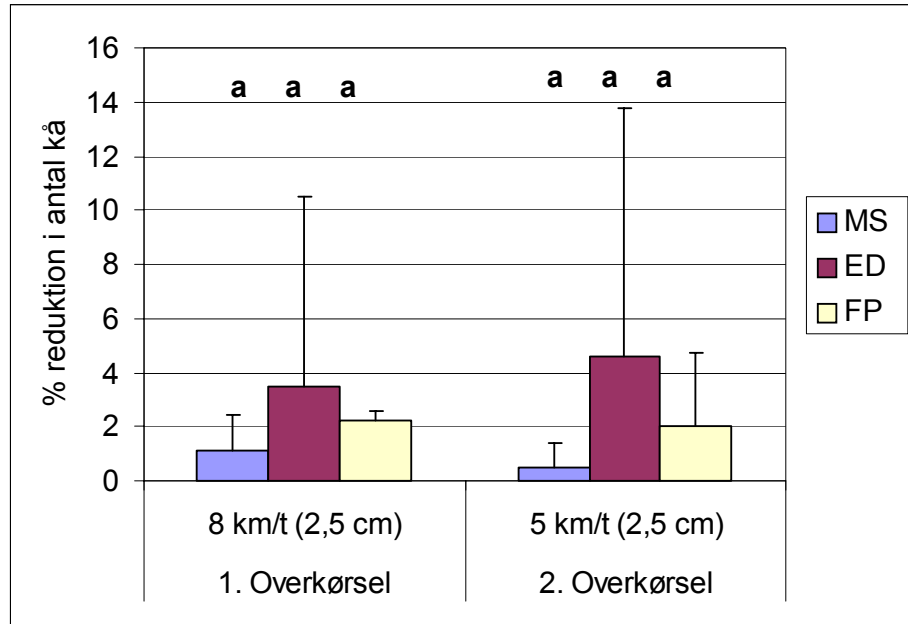
2001 A - grønsager

Skaderne på kålene i form af færre planter har med en enkelt undtagelse været relativt små. Ved første behandlingstidspunkt med 5 km/t og en afstand til rækkerne på 2,5 cm var antal kálhoveder ikke påvirket forskelligt af styresystemerne, mens der med 8 km/t var størst skade med ED og mindst med FP (figur 1). Ved 5 km/t og 5 cm afstand til rækkerne var der større skade med FP end med manuel styring, mens ED her udgik på grund af tekniske fejl. Ved senere kørsler med 8 km/t med én forudgående radrensning og ved 5 km/t uden forudgående radrensning var der ikke sikker forskel på manuel og automatisk styring eller mellem de to styresystemer (figur 2). Som det fremgår af figur 1 og 2, er der ikke mange tilfælde med sikre forskelle på de forskellige styresystemer. I visse tilfælde var ED-systemet ikke i stand til at identificere rækken, hvorved systemet gik i neutral position, og skaderne på afgrøden blev afhængig af traktorføreren. Antal og friskvægt af ukrudt i rækkerne var ikke påvirket af forskellige styresystemer. Udbytte i kál (friskvægt) i 2001 var ikke forskellige efter to overkørsler med 8 km/t med de tre styresystemer, hverken total udbytte (figur 3) eller udbytte pr. plante (figur 4). Ved én overkørsel på et relativt sent tidspunkt (28 dage efter plantning) gav FP et højere udbytte end ED, men ingen af de automatiske styresystemer var forskellige fra manuel styring. Det højere udbytte her skyldes tilsyneladende en større plantestørrelse (figur 4), det vil sige mindre skade på overlevende kálplanter. I dette tilfælde har FP styret mere præcist end de andre systemer.



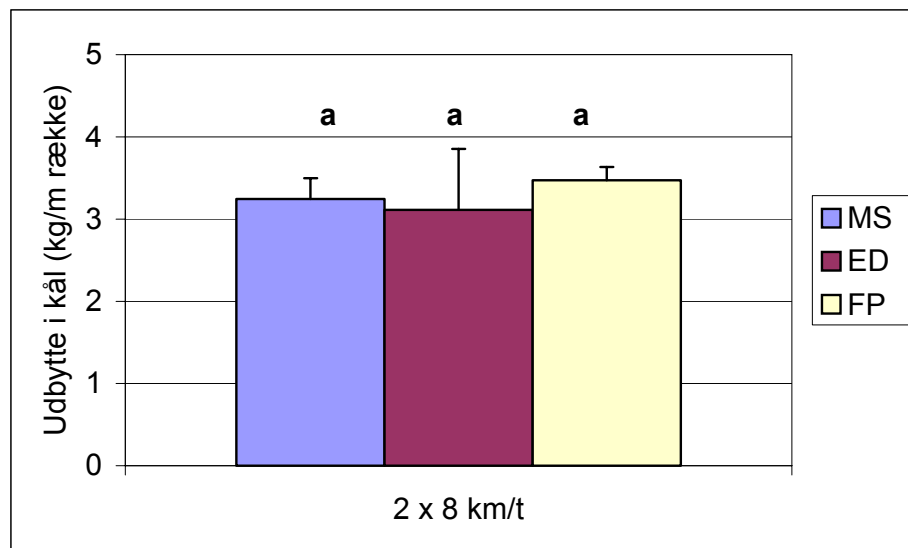
Figur 1. Reduktion i antal kál ved kørsel d. 21.06.01 ved 5 og 8 km/t, samt 2,5 og 5 cm afstand til rækken. Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 1. Reduction in the number of cabbages at treatment on 21.06.01 at speeds of 5 and 8 km/h and at distances of 2.5 and 5 cm from the row. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.



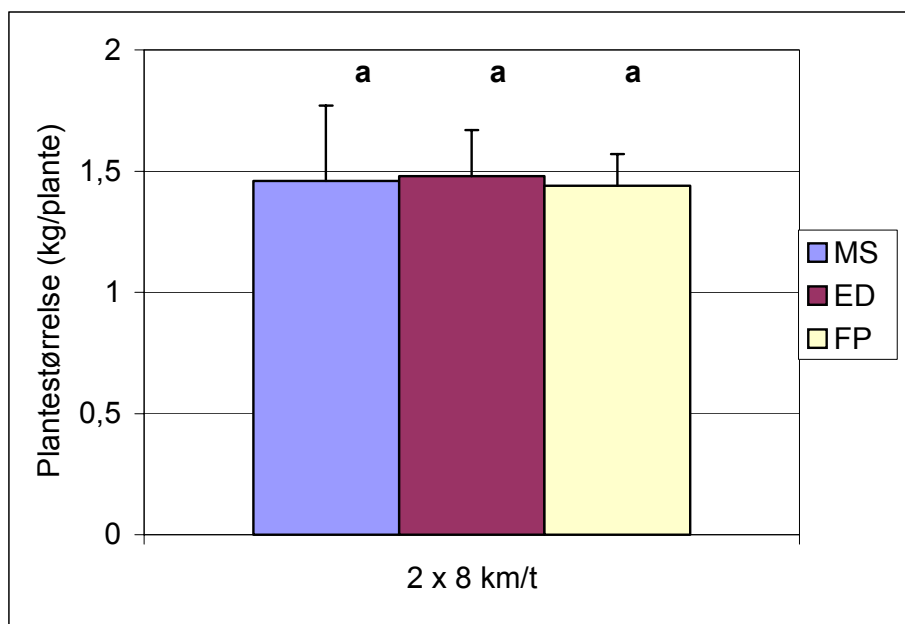
Figur 2. Reduktion i antal kål ved kørsel d. 6.07.01 ved 8 km/t og 2,5 cm afstand til rækken uden forudgående radrensning (1. overkørsel) og med forudgående radrensning (2. overkørsel). Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 2. Reduction in the number of cabbages at treatment on 06.07.01 at a speed of 8 km/h and at a distance of 2.5 cm from the row without previous inter-row hoeing (1st passage) and with previous inter-row hoeing (2nd passage). Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.



Figur 3. Udbytte i kål (friskvægt) opgjort d. 8.08.01 efter to radrensninger med 8 km/t. Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

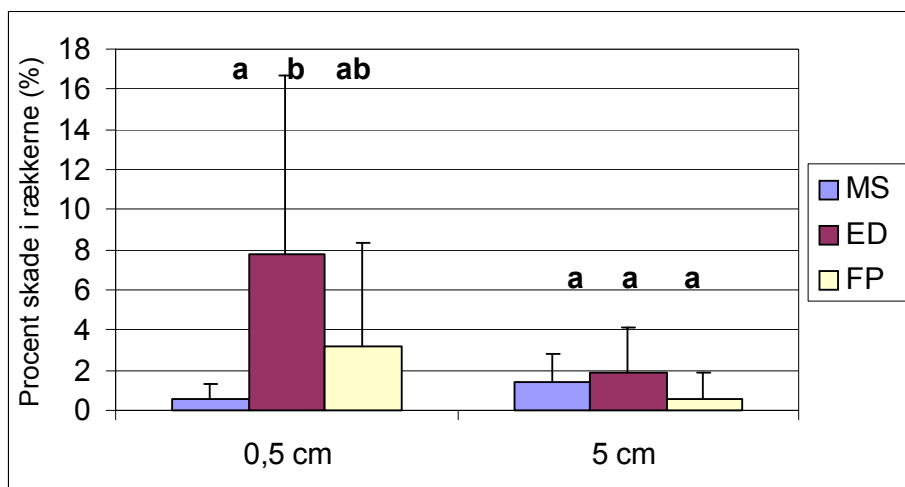
Figure 3. Yield in cabbage (fresh weight) assessed on 08.08.01 after two inter-row hoeings at a speed of 8 km/h. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.



Figur 4. Plantestørrelse i kål opgjort d. 8.08.01 efter to radrensninger med 8 km/t. Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

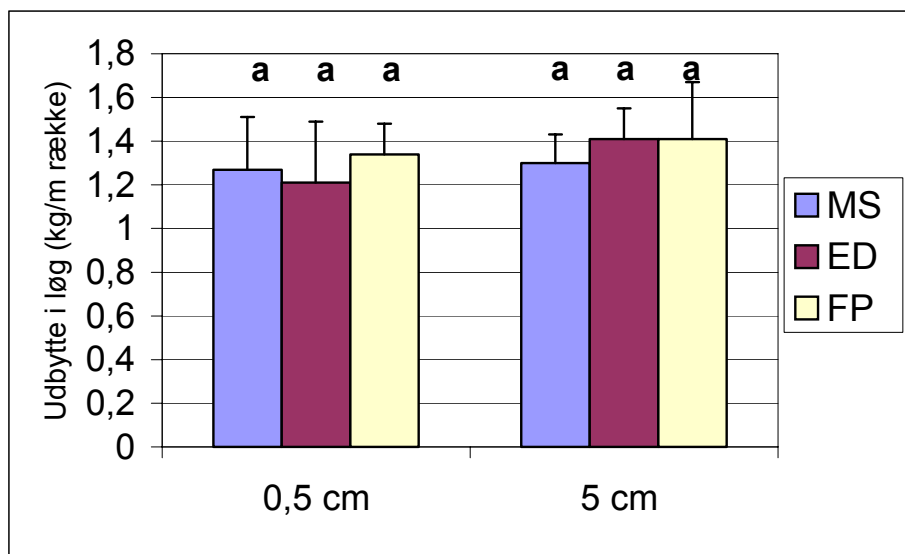
Figure 4. Plant size in cabbage measured on 08.08.01 after two inter-row hoeings at a speed of 8 km/h. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.

I løgene var der ingen forskel på skader i løgrækkerne mellem de tre styresystemer, når der var 5 cm mellem skræbepindene (figur 5). Men, når der blev kørt med en meget lille afstand til rækken – 1 cm mellem skræbepindene – var der sikre forskelle mellem systemerne (figur 5). Manuel styring var mere præcis end ED, mens skaderne ved FP lå mellem de to andre og var ikke sikkert forskellige fra nogen af dem. Skaderne var dog forholdsvis beskedne og havde ikke betydning for den samlede vægt (figur 6). Løgene har antageligt kunnet kompensere for fjernede planter ved, at naboplanterne har øget væksten.



Figur 5. Procent skade i løgrækkerne ved kørsel d. 16.08.01 ved 0,5 og 5 cm afstand til rækken. Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 5. Percentage damage in the onion rows at treatment on 16.08.01 at distances of 0,5 and 5 cm from the row. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.



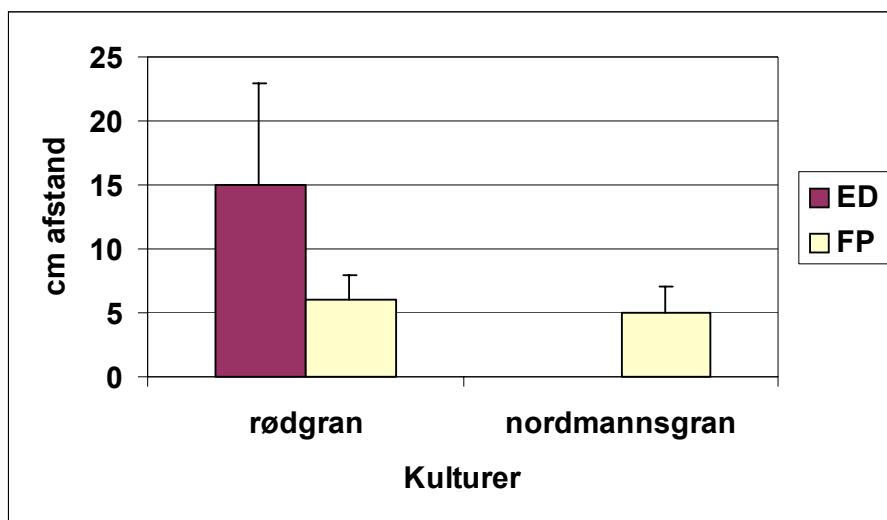
Figur 6. Udbytte i løg opgjort d. 10.10.01 efter kørsel ved 0,5 og 5 cm afstand til rækken. Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 6. Yield in onion obtained on 10.10.01 after treatment at distances of 0,5 and 5 cm from the row. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.

2001 B - vedplankulturer

Da det ikke var muligt at køre i forsøgsparcellerne, som beskrevet tidligere, blev der kørt med ED- og FP-systemerne i prikledede af rødgran, som stod i 5-rækkede bede med 25 cm mellem rækkerne. Prikleplanterne var ca. 10-15 cm høje og stod med en afstand af ca. 6-10 cm mellem planterne i rækken. Indstillingen af ED udstyret var imidlertid ikke optimal, og ED formåede ikke

at holde radrenseren i række mellemrummene men kørte på tværs af rækkerne. Derfor var det nødvendigt at holde en stor given afstand fra rækkens midte med ED, som det fremgår af figur 7. En af grundene hertil var, at planterne var relativt nypriklede, og derfor hang planternes toppe i nogle tilfælde ud i rækken, hvilket forstyrrede kameraets bestemmelse af rækken. Sandsynligvis havde kameraets høje placering i forhold til den relativt lille rækkeafstand også betydning for den store afstand. For ikke at ødelægge planterne blev der kun kørt med 2 km/time, hvilket også kan have haft en indflydelse på resultaterne.



Figur 7. Afstand i cm fra rækkemidte ved kørsel i 2001 med ED- og FP-systemerne i 5-rækkede prikledede af rødgran og nordmannsgran med hastigheden 2 km pr. time. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 7. Distance in cm from the middle of the row at treatment in 2001 with the ED and FP systems in 5-row transplanting beds of common spruce and Caucasian fir at a speed 2 km per hour. The standard deviation is indicated above the columns.

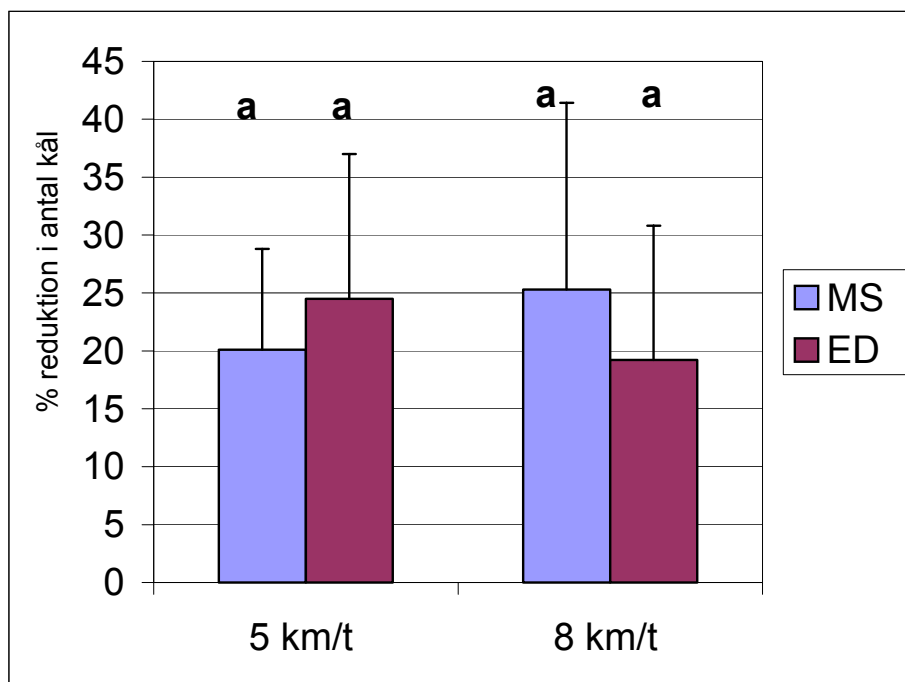
FP systemet var monteret umiddelbart foran radrenseren tilkoblet styringen af forhjulene på en Fendt-redskabsbærer. Med kørsel med styring af FP systemet var det muligt at køre tættere på rækkerne og med mindre variation end med ED (figur 7).

Efterfølgende blev der kørt med FP systemet i 2-årige nordmannsgran priklet i 5-rækker med 25 cm mellem rækkerne og 6-7 cm mellem planterne i rækken. Planterne var ca. 10 cm høje og mere oprette end rødgranplanterne. Ved denne kørsel kunne der køres med en afstand på 5 cm fra rækkemidte (figur 7).

2002 A - grønsager

Kålplanter kunne identificeres med 2 – 3 løvblade af begge de automatiske styresystemer, men ukrudt distraherede styringen, så en behandling i forsøget ikke kunne gennemføres ved første forsøg. FP angiver, at deres system kan styre efter planter med blade på ca. 1 cm², og ED angiver, at de kan styre efter planter med blade på 1-2 cm², men at det for dette system er rækkestrukturen, der er afgørende. I begge tilfælde vil kørsel efter meget små planter være meget følsom for ukrudt mellem rækkerne.

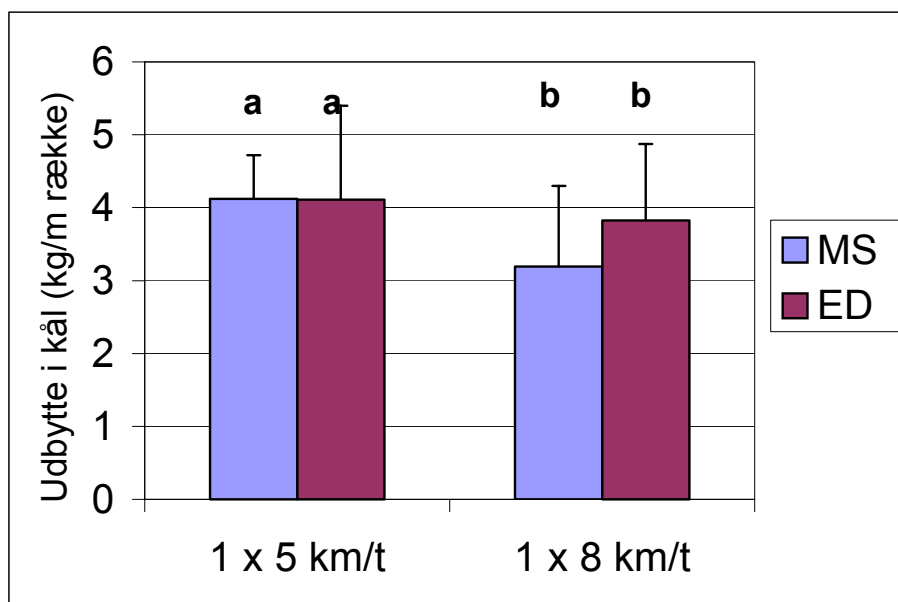
Ved kørsel i kålene med ED og MS den 3. juni var skaderne i form af færre planter 20 – 25% (figur 8), hvilket skal ses i lyset af, at der er sået rigeligt ud for at sikre en god bestand. En del af tabet skyldes tildækning af



Figur 8. Reduktion i antal kål efter kørsel d. 3.06.02 med 5 og 8 km/t. Forskel i lige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

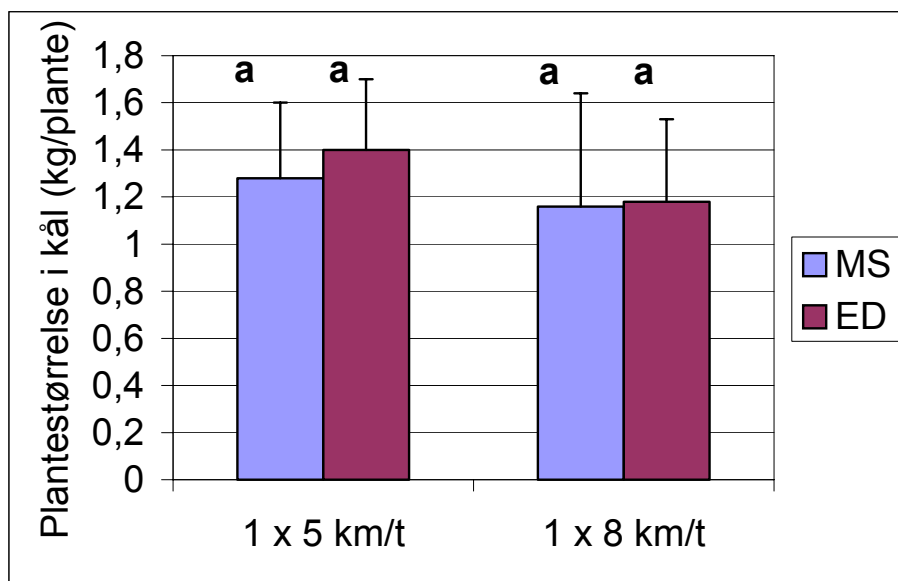
Figure 8. Reduction in the number of cabbages after treatment on 03.06.02 at speeds of 5 and 8 km/h. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.

planterne, da der ikke var afskærmning på radrenserne. Der var ikke sikker forskel på ED og manuel styring eller på de to hastigheder (figur 8). Der var dog en tendens ($P = 0,14$) til at øget hastighed reducerede skaden fra ED, mens øget hastighed øgede skaden ved manuel styring. Det kan forklares ved, at den automatiske styring bliver mindre følsom for enkelte ukrudtsplanter mellem rækkerne, når hastigheden øges, mens den manuelle styring bliver mere 'stresset'. Denne tendens kunne ikke ses på kålenes vægt antageligt (figur 9), fordi manglende kål kompenseres af større naboplanter. Til gengæld var kålenes vægt/række reduceret ved høj hastighed sikkert, fordi der blev kastet mere jord ind i rækkerne ved den høje hastighed. Der var derfor en tendens til, at kålplanternes størrelse var mindre ved kørsel med 8 km/t (figur 10). Ukrudtsmængden i rækkerne var ikke påvirket af hverken hastighed eller styresystem.



Figur 9. Udbytte i kål (frisk vægt) opgjort d. 14.08.02 efter radrensninger med 5 og 8 km/t. Forskel i lige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 9. Yield in cabbage (fresh weight) measured on 14.08.02 after inter-row hoeings at speeds of 5 and 8 km/h. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.

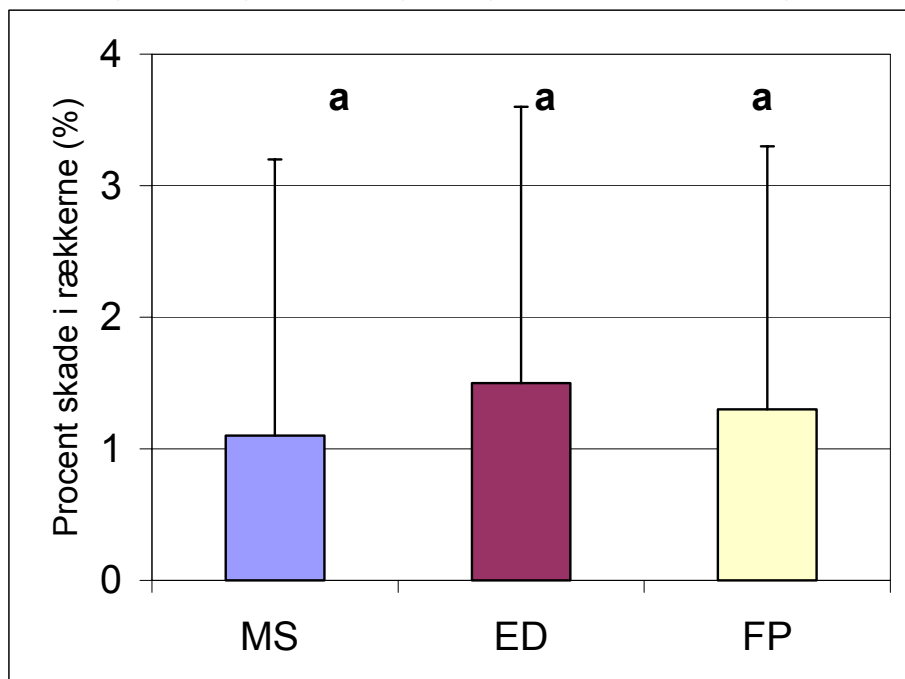


Figur 10. Udbytte pr. plante i kål (frisk vægt) opgjort d. 14.08.02 efter radrensninger med 5 og 8 km/t. Forskel i lige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 10. Yield per plant in cabbage (fresh weight) measured on 14.08.02 after inter-row hoeings at speeds of 5 and 8 km/h. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.

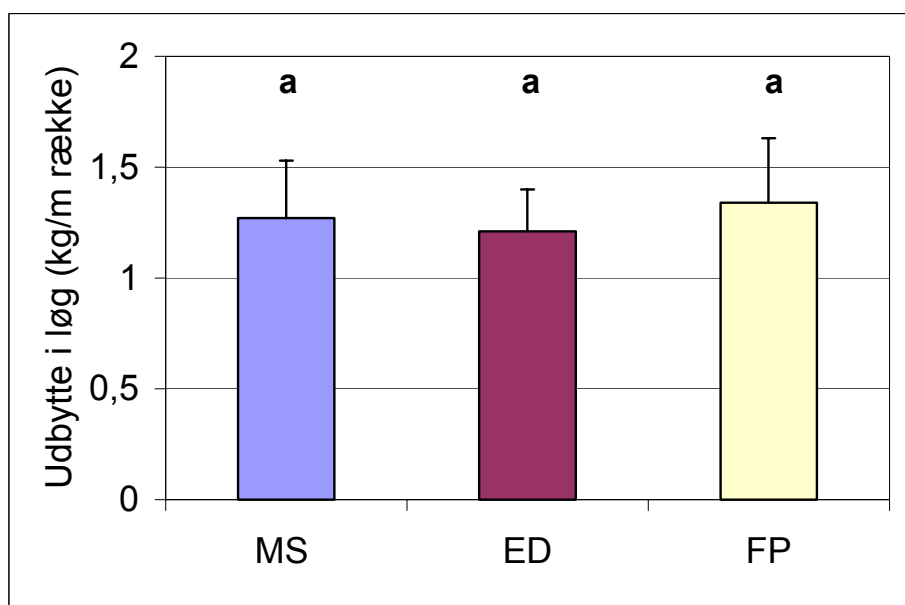
Ingen af systemerne kunne identificere løgrækkerne med sikkerhed, da løgene var 3-5 cm høje. Ved næste forsøg på kørsel var løgene 10 - 15 cm høje, og da kunne begge systemer antageligt have identificeret rækkerne, hvis der havde

været helt ukrudtsfrit mellem rækkerne, hvilket der ikke var. Ved den endelige kørsel i løgene 66 dage efter såning var løgbladene 30 – 40 cm lange. Her



Figur 11. Procent skade i løgrækkerne ved kørsel d. 12.07.01 med 5 km/t og 5 cm afstand til rækken. Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 11. Percentage damage in the onion row at treatment on 12.07.01 at a speed of 5 km/h and at a distance of 5 cm from the row. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.



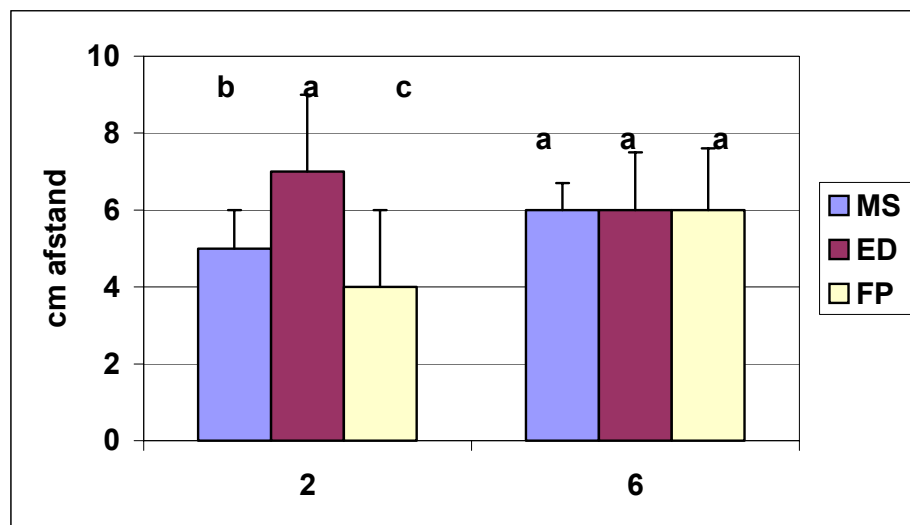
Figur 12. Salgbart udbytte i løg opgjort d. 12.09.02 efter kørsel med 5 km/t og afstand på 5 cm til rækken. Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 12. Marketable yield in onion measured on 12.09.02 after treatment at a speed of 5 km/h and at a distance of 5 cm from the row. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.

kunne begge systemer styre efter rækkerne. Skaderne på løgene i form af fjernede planter var under 2% (figur 11), hvilket i praksis vil sige ingen skade, og der var ingen forskel på manuel styring og de to styresystemer. Der var heller ingen forskel på løgenes vægt/række for de to styresystemer (figur 12). Det kan derfor overraske, at der var forskel på mængden af ukrudt ved de tre styremåder (ikke vist), men antageligt skyldes dette en tilfældig variation i marken. Under kørslerne kunne vi observere, at FP systemet reagerede på asymmetriske løgplanter (f.eks. væltede toppe), men dette er ikke afspejlet i skader på løgene. Frank Poulsen arbejder på udvikling af software, der kan bestemme planternes stængelbasis, således at systemet ikke reagerer på skæve toppe.

2002 B - vedplantekulturer

I 2002 blev der kørt efter planen i både nordmannsgran og fuglekirsebær. I nordmannsgran, som var de mindste planter, viste resultaterne, at nøjagtigheden af kørslen i forhold til rækkemidten var omtrent den samme for FP som for MS ved begge hastigheder (figur 13). ED-systemet var også lige så nøjagtigt som MS ved den høje hastighed, men ED var betydeligt vanskeligere at få til at køre lige så tæt på rækken som FP og MS ved den lave hastighed (figur 13).



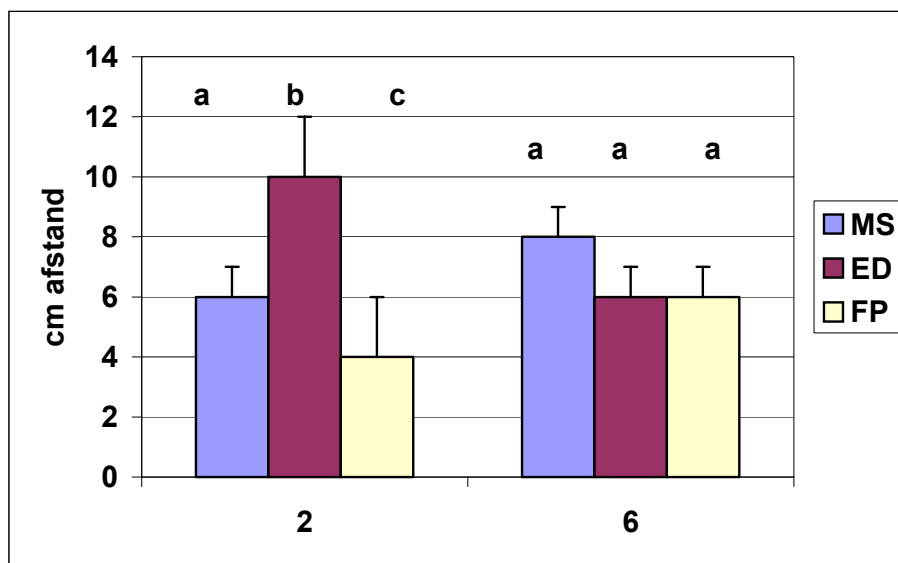
Figur 13. Afstand i cm fra rækkemidte ved 2 hastigheder (2 og 6 km pr. time) ved kørsel i 2002 med ED og FP systemerne i 5-rækkede prikledede af nordmannsgran i sammenligning med manuel styring (MS). Forskelle i bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 13. Distance in cm from the middle of the row at 2 speeds (2 and 6 km per hour) at treatment in 2002 with the ED and FP systems in 5-row transplanting beds of Caucasian fir compared with manual steering (MS). Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.

Resultaterne viste, at nøjagtigheden af kørslen med ED blev forbedret med den større hastighed. Sandsynligvis blev rækken nemmere genkendelig, når der var flere planter i kameraets synsfelt på grund af den større hastighed. Resultaterne viser således også, at for at systemet skal fungere optimalt, skal der være en jævn plantetæthed i rækken uden store spring i planteafstanden. FP-systemet anvender flere billeder i behandlingen af rækkedata, og derfor er

problemet med spring i rækken mindre vigtigt for virkningen af dette system. Resultaterne viser også, at der var en relativ stor variation ved begge systemer, og en del af denne variation skyldes, at kameraet forvekslede stort ukrudt langs med eller mellem rækkerne med kulturplanterne.

I fuglekirsebær, som var mere end dobbelt så store som nordmannsgran, var resultaterne meget analoge til det, som blev fundet i nordmannsgran. Igen var det vanskelig at komme tæt på rækken med ED ved den lave hastighed. Ved den høje hastighed derimod var der en tendens til, at det var nemmere at komme relativ tæt på rækken med begge de automatiske styresystemer (figur 14).



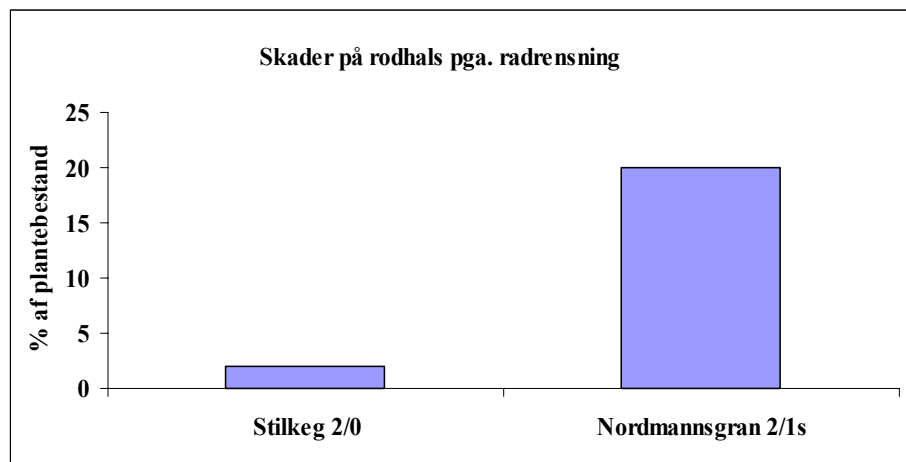
Figur 14. Afstand i cm fra rækkemidte ved 2 hastigheder (2 og 6 km/t) ved kørsel i 2002 med ED og FP systemerne i 5-rækkede priklebete af fuglekirsebær i sammenligning med manuel kørsel. Forskellige bogstaver angiver signifikante forskelle på 5% niveau. Standardafvigelse er angivet over søjlerne.

Figure 14. Distance in cm from the middle of the row at 2 driving speeds (2 and 6 km per hour) at treatment in 2002 with the ED and FP systems in 5-row transplanting beds of bird cherry compared with manual steering. Different letters indicate significant differences at the 5% level. The standard deviation is indicated above the columns.

3.2 Skader på vedplantekulturer ved manuel radrensning

Registreringen viste, at der hos stilkeg ved en plantetæthed på gennemsnitlig 48 planter pr. løbende meter var synlige skader fra radrensning på rodhalsen hos 2% af planterne (figur 15).

Hos nordmannsgran blev der på 39 planter ud af de 150 (26%) konstateret skader på rodhalsen fra radrensning, heraf var de 30 (20%) alvorlige skader, som gav sig udtryk i nedsat vækst i toppen (figur 15). Billede 6 viser skader på rodhalsen. Disse planter ville under alle omstændigheder være frasorteret på grund af størrelsen. De resterende 9 planter (6%) havde mere overfladiske skader, hvor der var begrænset effekt på toppens vækst, og disse planter ville sandsynligvis ikke være frasorteret. En del af skaderne i toppens vækst kan være opstået i kombination mellem radrensning og brug af Roundup samtidig i afskærmet sprøjtning (Karlsson, B., pers. medd.).



Figur 15. Skader på rodhals i stilkeg og nordmannsgran i procent af plantebestand.

Figure 15. Damages to the root collar in English oak and Caucasian fir in per cent of plant population.

Hos Statsskovenes Planteavlstation, Skov- & Naturstyrelsen, har man i flere år kørt med et projekt med Grøn Planteskoledrift, hvor der har været anvendt mekanisk ukrudtsbekæmpelse, herunder lugning (Damm, 2002).



Bil l ede 6. Skader på rodhals i nordmannsgran efter påkørsel med radrenser.

Picture 6. Damages to the root collar in Caucasian fir after being hit by inter-row cultivator.

Statsskovenes Planteavlstation har registreret manuelle skader fra renholdelse i flere kulturer. Deres registreringer viser, at de manuelle skader på rodhalsen fra planter optaget i 2001 udgjorde mellem 2-5% af planterne, der blev taget op, afhængig af kulturen (Stenvang, K., pers. medd.). Således blev der fundet skader i 5% af planterne hos eg, som dækker mere for traktorførerens udsyn end bøg, hvor der blev fundet skader i 2% af planterne.

Andre planteskoler er blevet besøgt og spurgt, om deres erfaringer med skader fra mekanisk behandling. Men planteskolerne registrerer ikke umiddelbart manuelle skader. Generelt bliver ca. 50% af de fremspirede planteskoleplanter fundet brugbare som salgsplanter efter optagning og sortering (Pagh Nielsen, pers. medd.). De øvrige 50% smides ud, eller en mindre del omplantes, hvis kvaliteten i øvrigt er i orden. Hvor stor en del af de 50%, der er sorteret fra på grund af manuelle styreskader ved radrensning, vides ikke.

Der er så vidt vides ikke nogen planteskoler, der udelukkende bruger herbicider i ukrudtsbekæmpelsen. Det har derfor ikke været muligt at kvantificere skaderne på planterne uden mekanisk ukrudtsbekæmpelse. Når der blev fundet så stor forskel mellem antallet af manuelle skader fra 2 til 20%, kan en del af forklaringen være, at nordmannsgranplanter med den største procent skadede planter er brede og derfor dækker mere for traktorførerens udsyn. Endelig kan forskellen bestå i, at stilkeg bliver udsået i 4 cm bånd og nordmannsgran udplantes i rækker. Det relativt store antal skader i prikledede nordmannsgranplanter kan derfor indikere, at en automatisk styring netop til nogle arter og prikpleplanter vil kunne bruges til at nedbringe antallet af skader på rodhalsen. Kostprisen for prikpleplanter er større end for frøbedsplanter, og derfor vil en nedbringelse af skaderne medføre en bedre indtjening for planteskolerne. Salgsprisen for en prikpleplante af rødgran 2/1s er mellem 2,50-3,00 kr./stk., og et mindre tab på 20% vil svare til 125.000-150.000 kr. pr. ha ved 250.000 planter/ha.

3.3 Beregninger af økonomiske, tids- og energimæssige konsekvenser ved brugen af automatisk styring til radrensning

De to års undersøgelser af de automatiske styresystemers potentialer har vist, at de med den nuværende tekniske formåen ikke dækker hele det behov, der vil være for styring i grønsags- og planteskolekulturer, primært fordi der stilles for store krav til kulturplanternes størrelse og dermed rækkernes tydelighed for, at systemerne kan arbejde tilfredsstillende. Der er for mange situationer, hvor avleren ikke vil kunne anvende systemerne og derfor må anvende traditionelle styresystemer. Det er derfor indlysende, at der hverken er et driftsmæssigt eller økonomisk incitament for avlerne til at investere i den nuværende styringsteknologi. Men den teknologiske udvikling, som systemerne stadig undergår fra firmaernes side, peger imidlertid på, at de om få år kan få en væsentlig betydning for den mekaniske ukrudtsbekæmpelse i frilandsgrønsager og planteskoleproduktioner. Nedenstående analyser tager derfor afsæt i givne systemer til anvendelse i forskellige scenarier, hvor det antages, at systemerne er fuldt funktionsdygtige og kan dække de forskellige styringsbehov, der vil være, hvilket i øvrigt anses for nødvendigt for markedsføringen af systemerne til praksis.

Udplantet kål og såløg

I tabel 2 er der angivet seks forskellige scenarier for ukrudtsbekæmpelse i kål og såløg. Både de rent mekaniske (strategi 1, 2 og 3) og den kombinerede kemisk/mechaniske (strategi 4) i kål er almindeligt anvendte i praksis. Helt kemiske strategier forekommer ikke i kål grundet udfasning af de fleste anvendelige herbicider. Strategi 6 afspejler den mest almindelige sprøjtepraksis i såløg, mens den rent ikke-kemiske strategi 5 er mest anvendt i økologisk dyrkning af såløg.

Tabel 2. Relevante strategier for mekanisk ukrudtsbekæmpelse i såløg og udplanted kål med angivelse af deres effekter på ukrudt i rækken, afgrøde og efterfølgende lugebehov samt kildeangivelser.

Table 2. Relevant strategies for mechanical weed control in seeded onion and transplanted cabbage with a statement of their effects on weeds in the row, crop, and subsequent need for weeding as well as source references.

Kultur	Strategi	Ukrudtseffekt (%)		Evt. skade på afgrøden (%)**	Efterfølgende lugebehov (t/ha)	Referencer, som angiver forventelige bekæmpelses-effekter, skader og lugebehov
		Mellem rækkerne	I rækkerne			
Kål (hvid-, rød-, spids- og blomkål)	1, 2, 3	100	85-90	0-10	10-45	Melander (2000)* Melander <i>et al.</i> (1999) Weide & Bleeker (2000)
	4	100	90-95	0-10	10-45	
Såløg	5	100	60-70	Ingen påvist	50-100	Melander & Hartvig (1997) Melander & Rasmussen (2001)
	6	90-100	90-100	Ingen påvist	10-15	

* Resultater fra plantede bederoer

** Skal betragtes som et egentligt tab

1. Falsk såbed før plantning + strigling efter plantning samt supplerende radrensning mellem rækkerne (ekstra person til styring).
2. Falsk såbed før plantning + radrensning med skræbepinde efter plantning (ekstra person til styring) + radrensning med hypning ind i rækken (ekstra person til styring).
3. Falsk såbed før plantning + radrensning med hypning ind i rækken efter plantning (ekstra person til styring).
4. Udbringning og nedharvning af 1 l/ha Devrinol + efterfølgende radrensning med hypning ind i rækken (ekstra person til styring).
5. Flammebehandling før fremspiring + radrensning tæt på rækken (ekstra person til styring) + afsluttende radrensning med let hypning (ekstra person til styring).
6. Standard herbicidbehandling: 5 l/ha Stomp SC + 1,5 l/ha Roundup + 0,3 l/ha Totril + 0,5 l/ha Totril + 0,7 l/ha Totril + 12 timers håndlugning af ukrudt

Tabel 3. Beregning af udgifter og energiforbrug ved anvendelse af strategierne angivet i tabel 2.

Table 3. Calculation of costs and energy consumption when using the strategies stated in table 2.

Kultur	Strategi	Antal kørsler i alt	Antal personer til styring *	Bekæmpelses-effekt i rækken (%)	Udgift pr. ha. Heraf lugning i ()	Energiforbrug (dieselolie l/ha)	Tidsforbrug (mandetimer / ha). Heraf lugning i ()
Kål (hvid-, rød-, spids- og blomkål)	1: UAS MAS-ED MAS-FP	6	1	90	3.684 (1.536)	40	21 (13)
		6	0	90	3.905 (1.536)	40	17 (13)
		6	0	90	3.719 (1.536)	40	17 (13)
	2, 3: UAS MAS-ED MAS-FP	4	1	90	3.767 (1.536)	40	21 (13)
		4	0	90	3.598 (1.536)	40	17 (13)
		4	0	90	3.412 (1.536)	40	17 (13)
	4: UAS MAS-ED MAS-FP	4	1	95	3.295 (1.248)	33	17 (10)
		4	0	95	3.321 (1.248)	33	13 (10)
		4	0	95	3.135 (1.248)	33	13 (10)
Såløg	5: UAS MAS-ED MAS-FP	7	1	65	13.058 (6.294)	112	71 (52)
		7	0	65	12.419 (6.294)	112	62 (52)
		7	0	65	11.737 (6.294)	112	62 (52)
	6: KEMISK	5	0	95	3.368 (1.440)	15	14 (12)

* Kun til styring af radrenseren

UAS = uden automatisk styring

MAS-ED = med ECO-DAN styring

MAS-FP = med Frank Poulsen styring

I tabel 3 er der på baggrund af værdierne i tabel 2 samt værdierne angivet i appendiks A foretaget nogle beregninger over de økonomiske, tids- og energimæssige konsekvenser ved gennemførelse af de seks strategier med og uden automatisk styring (energi til fremstilling af herbicider og redskaber er ikke medtaget). Beregningerne tager udgangspunkt i et tidligere udarbejdet modelkoncept til beregning af de økonomiske konsekvenser ved anvendelse af forskellige bekæmpelsesstrategier mod ukrudt i grønsager (Melander, 1998). I korte træk er modelkonceptet som følgende:

De årlige udgifter T_C (kr. ha⁻¹) til ukrudtsbekæmpelse blev udregnet ved hjælp af basisligningen:

$$T_C = E_1 + E_2 + \dots + E_N + H_W \quad (1)$$

hvor E er udgifter til ukrudtsbekæmpelse ved hjælp af redskab 1, 2 og op til N , og hvor H_W er udgiften til håndlugning af det ukrudt, som overlever de maskinelle behandlinger.

E er beregnet som:

$$E = O_E + P_N(V_C + M_C + T_E) \quad (2)$$

hvor O_E er forrentning og afdrag, P_N er antal overkørsler, V_C er variable omkostninger, M_C er udgifter til manuel styring af redskabet, og T_E er traktorudgifter. V_C indeholder udgifter til reparationer, vedligeholdelse, og gasforbrug ved flammebehandling. O_E blev beregnet ved hjælp af en almindelig annuitetsformel:

$$O_E = [I_C(r/(1-(1+r)^{-R_p}))]/A \quad (3)$$

hvor I_C (kr.) er anskaffelsesprisen, r (%) er renten, A (ha) er det årlige areal, som behandles, og R_p er afdragsperioden i år. T_E beregnes som:

$$T_E = (T_H + T_W)/W_C \quad (4)$$

hvor T_H (kr. t⁻¹) er udgiften pr. driftstime (som inkluderer reparationer, anskaffelsesinvestering, vedligeholdelse, forsikring, og brændstof), T_W (kr. t⁻¹) er løn til traktorchaufføren, og W_C (ha t⁻¹) er redskabets arbejdskapacitet (indeholder 20% til stop og vendinger). M_C blev beregnet som:

$$M_C = N_p T_W / W_C \quad (5)$$

hvor N_p er antallet af personer til betjening/styring af redskabet. Udgifterne til håndlugning blev beregnet som:

$$H_W = [a + bW_D(1 - W_E)] T_W \quad (6)$$

hvor a og b er parametre fra lineær regression mellem stigende ukrudtsbestand i rækken W_D (planter/m²) og tidsforbruget til håndlugning. W_E er den samlede bekæmpelseseffekt opnået gennem den maskinelle indsats. Parameter a (t ha⁻¹) er den tid, det tager at gå rækkerne igennem uden egentlig lugning, og b (t m² planter⁻¹ ha⁻¹) er tidsforbruget til lugning af hver enkelt ukrudtsplante pr. m².

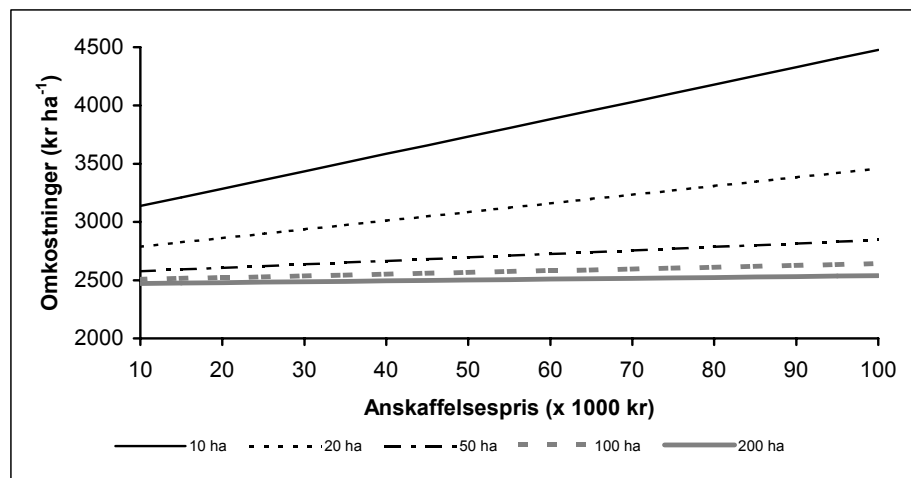
Scenarierne og forudsætningerne forsøger at ramme almindelige og relevante situationer i en grønsagsproduktion, men i praksis forekommer der naturligvis store afvigelser. Hvor ikke andet er angivet, er det antaget, at de automatiske styresystemer styrer lige godt og ikke skader kulturerne, hvilket som sagt ikke helt er i overensstemmelse med årets resultater.

Kål

I kål er det ofte billigere at anvende en kombineret kemisk/mekanisk strategi 4 end en rent mekanisk strategi, fordi effekten mod lugekrævende ukrudt i rækken antages at være større end ved de rent mekaniske strategier (tabel 3), hvorfor der kan spares på lugeomkostningerne. Forskellen i effekt mod ukrudt i rækken mellem de rent mekaniske strategier og den kombinerede strategi vil i praksis være lille, og bekæmpelseeffekten ved den kombinerede strategi skal ikke falde meget, før end billedet hurtigt vender til fordel for de rent mekaniske. Det kan meget vel opstå i de situationer, hvor der er større forekomster af arter, som det anvendte herbicid (Devrinol) enten ikke bekæmper eller kun bekæmper med nedsat effekt.

Manuel styring bliver dyrere end automatisk styring ved et stigende antal kørsler, som kræver ekstra person til styring. Det ses ved sammenligning af strategi 1 med 2 og 3, hvor de to sidstnævnte kræver 4 træk med manuel styring i modsætning til strategi 1, som kun indbefatter 2 træk med krav til manuel styring. Som det ses i tabel 3, er ED-systemet generelt dyrere at anvende end FP-systemet grundet den højere anskaffelsespris, som er anvendt i disse beregninger.

Anskaffelsesprisen har især betydning ved anvendelse på mindre arealer, hvor det billigste system giver den bedste økonomi, som det fremgår af figur 16. Men ved anvendelse på større arealer får anskaffelsesprisen langt mindre betydning, og andre fordele som f.eks. brugervenlighed, servicebetingelser og holdbarhed kan få betydning for valget af et dyrere system frem for et billigere. Begge firmaer forsøger i øvrigt løbende at billiggøre deres produkter.

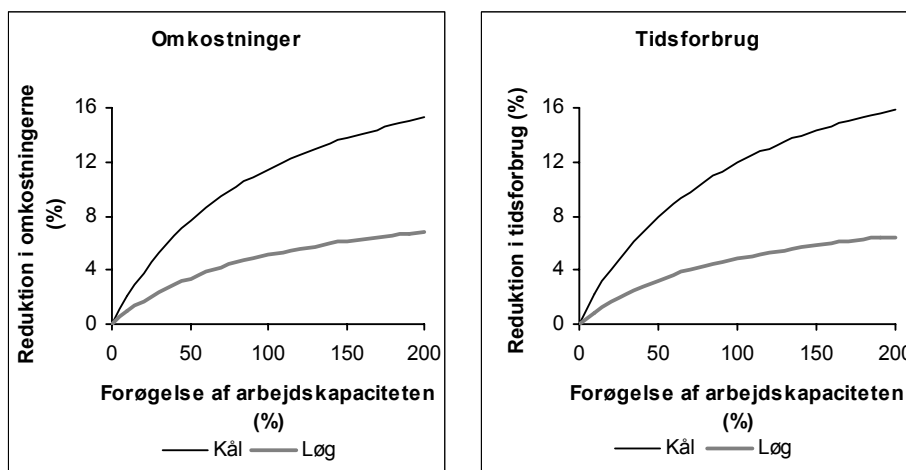


Figur 16. Betydningen af anskaffelsesprisen for nyt automatisk styresystem til radrensning i udplantet kål og de samlede omkostninger til ukrudtsbekæmpelse efter strategi 2 og 3 i tabel 3, vist for forskellige årlige areal anvendelser af udstyret.

Figure 16. The relationship between the costs of weed control and the purchase price of a new automatic steering system for inter-row hoeing in transplanted cabbage according to strategies nos. 2 and 3 in Table 3, shown for different annual land uses.

Af beregningerne for det samlede tidsforbrug i mandetimer fremgår det, at styring mindsker det samlede tidsforbrug til ukrudtsbekæmpelsen med ca. 24% (tabel 3). Besparselsen i tidsforbrug og udgiften til ukrudtsbekæmpelse kan yderligere forøges ved at øge radrenserens arbejdskapacitet, som illustreret

i figur 17 for strategi 2 og 3 med anvendelse af FP-systemet. Kan de automatiske styresystemer gøre det muligt enten at øge fremkørselshastigheden og/eller at anvende en bredere radrenser, kan der især opnås mærkbare fordele ved en op til 100% øgning af arbejdskapaciteten. Et andet forhold, som i denne sammenhæng er mindst lige så væsentligt for tidsforbruget, er den daglige driftstid, som automatiske styresystemer kan øge betydeligt, da systemerne ikke bliver "mentalt trætte", som det er tilfældet ved manuel styring. Herved kan vejrsmæssigt gode perioder for radrensning også bedre udnyttes, således at der er mindre risiko for dårlig bekæmpelse på grund af vejrliget. Den ekstra tid, som automatiske styresystemer kan frigøre, har stor betydning for at kunne inddrage arbejdskraft andre steder i produktionen på en grønsagsbedrift i en periode af sæsonen, hvor der normalt er stor travlhed. Værdien af denne ekstra tid vil naturligvis afhænge af den forbedring eller udvidelse af produktionen, som det kan medføre.



Figur 17. Sammenhængene mellem reduktioner i omkostningerne til ukrudtsbekæmpelse og tidsforbruget til ukrudtsbekæmpelse efter strategi 2, 3 (kål) og 5 (løg) (tabel 3) og en forøgelse af arbejdskapaciteten ved radrensning med FP-styresystemet i kål og såløg.

Figure 17. The relationships between reductions in the costs of weed control and the time consumption for weed control and an increase in the working capacity for inter-row hoeing in cabbage and seeded onion according to strategies nos. 2, 3 (cabbage), and 5 (onion) in Table 3 and at application of the FP-steering system.

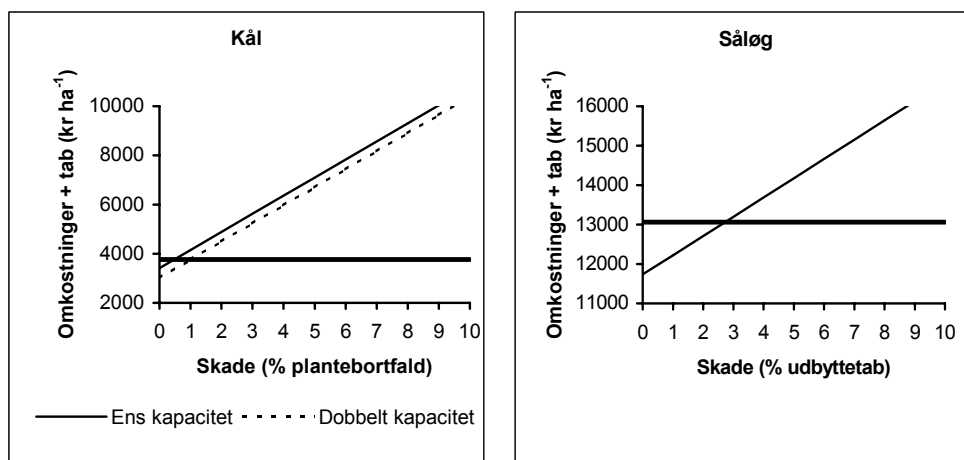
Det er meget afgørende, at de automatiske styresystemer kan operere med mindst den samme præcision og pålidelighed, som kendetegner manuel styring. Er det ikke tilfældet, kan selv mindre skader som følge af uønskede styreudsving medføre en betydelig dårligere økonomi, som det er anskueliggjort i figur 18. Den mindre økonomiske fordel ved automatisk styring sammenlignet med manuel styring forsvinder hurtigt på grund af værdien af de manglende kålplanter, og det uanset om automatisk styring har ført til en fordobling af arbejdskapaciteten.

Forbruget af energi i form af brændstof er størst ved de rent mekaniske strategier og specielt, hvis arbejdskapaciteten på redskabet er lille (tabel 3).

Såløg

Ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse i såløg er vanskeligt og dyrt sammenlignet med kemisk bekæmpelse, som det fremgår af tabel 3. Udgifterne er store, fordi der skal investeres i redskaber med beskeden arbejdskapacitet, som oftest

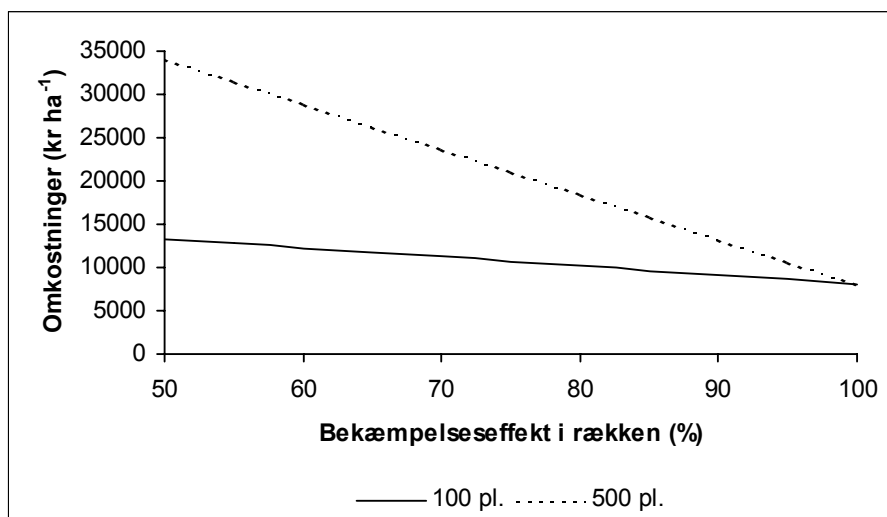
kun kan anvendes på et relativt lille areal. Ligeledes er udgiften til håndlugning betydelig. Automatisk styring vil billiggøre den ikke-kemiske bekæmpelse og nedsætte det samlede tidsforbrug igen som følge af, at radrenseren ikke kræver bemanning. Betydningen af anskaffelsesprisen for automatisk styringsudstyr til radrensningsopgaverne følger de samme forhold, som vist for kål i figur 16, men udgiften er procentuelt mindre i forhold til den samlede omkostning til ukrudtsbekæmpelse end for kål, fordi det er så meget dyrere at bekæmpe ukrudt ikke-kemisk i såløg.



Figur 18. Betydningen af styringsskader på kål og såløg for omkostningerne til ukrudtsbekæmpelse (beregnet efter strategi 2, 3 (kål) og 5 (løg) (tabel 3)) plus værdien af det tabte salgbare udbytte (konventionel produktion). De vandrette linier angiver omkostningerne ved manuel styring uden skader for de samme 3 strategier. For kål er sammenhængene vist ved ens arbejdskapacitet for manuel og automatisk styring, og når kapaciteten ved automatisk styring er fordoblet i forhold til manuel styring.

Figure 18. The relationships between the costs of weed control plus the value of the lost marketable yield (conventional production) and the level of steering damages to cabbage and seeded onion shown for strategies nos. 2, 3 (cabbage), and 5 (onion) (Table 3). The horizontal line indicates the costs of manual steering without damages for the same 3 strategies. For cabbage, the relations are shown at the same working capacity for manual and automatic steering and when the capacity at automatic steering is doubled compared with manual steering.

Hvis ny styringsteknologi kan forbedre effekten mod ukrudt i rækken, kan det få meget stor betydning for omkostningsniveauet for den ikke-kemiske bekæmpelse, fordi der vil kunne spares på lugeudgifterne, som er store i såløg. Dette forhold er illustreret i figur 19 for henholdsvis et moderat og højt ukrudtstryk. Det vil altså kunne betale sig at investere i dyrt styringsudstyr, hvis ukrudtstrykket er højt, og der samtidig kan opnås en meget høj effekt mod ukrudt i rækken.



Figur 19. Sammenhængene mellem omkostningerne til ukrudtsbekæmpelse og bekæmpelseeffekten mod ukrudt i rækken ved anvendelse af strategi 5 til såløg (tabel 3), vist for to ukrudtsbestande, henholdsvis 100 og 500 pl. m².

Figure 19. The relationships between the costs of weed control and the control effect against weeds in the row at application of strategy no. 5 for seed onion (Table 3), shown for two weed pressures, 100 and 500 pl. m², respectively.

Ny styringsteknologi vil kun have en afgørende betydning for herbicidforbruget i den konventionelle løgproduktion, hvis den kan få afgørende betydning for anvendelsen af båndsprøjtning. Den mest udbredte sprøjtestrategi (strategi 6 i tabel 3) betyder, at der ikke anvendes radrensning, fordi det vil nedsætte effekten af jordherbicidet. Men båndsprøjtning vil være muligt, da der ikke kultiveres i selve rækken. Båndsprøjtning anvendes kun ganske lidt i løgproduktionen, fordi bl.a. styringsproblemer og tidsforbruget er væsentlige barrierer for en større udbredelse af metoden. Rationel båndsprøjtningsteknik baseret på automatisk styringsteknologi skønnes at kunne nedsætte herbicidforbruget med 70-80% i den konventionelle løgproduktion.

I figur 17 er det illustreret, hvad en øget arbejdskapacitet ved radrensning i såløg vil betyde for en reduktion i omkostningsniveauet til ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse. Den procentuelle reduktion er mindre – men større i absolutte tal – end i kål på grund af det højere omkostningsniveau til ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse. Tilsvarende gælder for tidsforbruget, hvor det især er det større tidsforbrug til lugning i løg, som medfører en mindre procentuel ændring.

Hvis anvendelsen af automatisk styringsudstyr forvolder skader på løgene som følge af styringsunøjagtighed, kan det medføre store tab som i tilfældet for kål. Som vist i figur 18 er det dog først ved et lidt højere skadesniveau, at automatisk styring bliver mindre fordelagtigt end manuel styring.

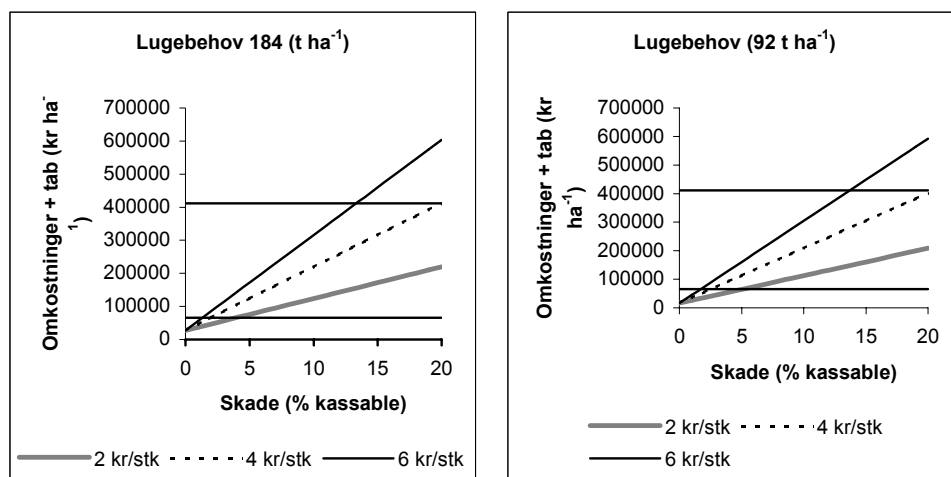
Energiforbruget til brændstof og gas (omregnet til dieselolie) er stort for den ikke-kemiske strategi, primært på grund af anvendelsen af flammebehandling (tabel 3).

Planteskolekulturer

De fleste planteskolekulturer dyrkes typisk på 1,25 m brede bede med 5 rækker og 25 cm mellem rækkerne. Hedeselskabet beregner time- og ressourceforbrug pr. m², og tidsforbruget til radrensning foregår med 107 timer ha⁻¹ og lugning i rækken med 184 timer ha⁻¹, begge tal er brede gennemsnit over kulturer og år. Den nuværende ukrudtsbekæmpelse er baseret på kemisk, mekanisk (radrensning) og manuel ukrudtsbekæmpelse, hvor den kemiske bekæmpelse typisk foregår forud for den mekaniske bekæmpelse. Den kemiske bekæmpelse kan ikke udelades, men radrensning mellem rækkerne og håndlugning i rækkerne bevirker, at der ikke bruges kemisk bekæmpelse i selve vækstsæsonen. Båndbredden, der skal luges, er ca. 11 cm, og det vurderes, at automatisk styringsteknik kan nedbringe bredden til 6 cm, hvilket ifølge Hedeselskabet forventes at give en besparelse i lugetid på knapt 50%. Med en udgift på 126 kr./time til lugning kan der potentielt spares godt 11.000 kr./ha. Det er meget sandsynligt, at ekstraudstyr som fingerhjul og skrabepinde yderligere vil kunne nedbringe udgiften til lugning. Det har ikke været muligt at afprøve ekstraudstyret hverken i 2001 eller 2002.

Den automatiske styringsteknik vurderes ikke at kunne øge kørehastigheden på 5-6 km/t og dermed arbejdskapaciteten ved radrensning. Forsøgene har dog vist, at i flere situationer har de automatiske styresystemer virket bedre ved 6 end ved 2 km/t. Teknikken fører heller ikke til besparelse af en ekstra person til styring af selve radrenseren, da denne styres manuelt fra traktoren. Men teknikken kan aflaste traktorchaufføren mentalt og samtidig gøre planlægningen og organiseringen af rensarbejdet mere fleksibelt, da mindre rutinerede chauffører nemmere vil kunne aflaste/erstatte de rutinerede i forbindelse med ferie og sygdom.

Stikprøveundersøgelsen i kulturer hos Hedeselskabet afslørede betydelige skader som følge af den nuværende radrensningsteknik. I figur 20 er det anskueliggjort, hvad skader på planteskolekulturer betyder økonomisk. Skader, som normalt gør planterne usælgelige, og derfor skal betragtes som tab. De vandrette linier i begge figurer angiver to eksempler på omkostningerne til ukrudtsbekæmpelse (kemisk, radrensning (6 træk) og lugning) plus det opståede tab som følge af skader ved den nuværende manuelle radrensningsteknik. Omkostningerne til ukrudtsbekæmpelse er udregnet efter samme modelkoncept som for grønsager og inkluderer altså alle tænkelige udgifter forbundet med ukrudtsbekæmpelsen. De anvendte prisseksempler for salg af kulturerne er indenfor de typiske listepreiser for kulturer som nordmannsgran (3,51 kr. pr. stk.), bøg (4,19 kr. pr. stk.), eg (4,51 kr. pr. stk.) og fuglekirsebær (3,80 kr. pr. stk.). Suppleres radrensningen med automatisk styring, og kan det nedbringe skadesomfanget, vil det have voldsom betydning for det økonomiske resultat. En nedbringelse af lugetiden til det halve ved radrensning tættere på rækken har kun marginal betydning sammenlignet med betydningen af en nedbringelse af skadesomfanget. Det er derfor tvivlsomt, om radrensning tættere på rækken for opnåelse af et mindre lugebehov vil være anbefalelsesværdigt, hvis det samtidigt øger risikoen for skader på kulturerne.



Figur 20. Sammenhængene mellem omkostningerne til ukrudtsbekæmpelse (kemisk + mekanisk (radrensning med FP-systemet, 6 træk) + lugning i rækken) plus værdien af det tabte salgare udbytte og niveauet af styringsskader på planteskolekulturner, vist for 3 salgspriseniveauer og ved to forskellige lugebehov som følge af renseafstanden til planterækken. De vandrette linier angiver omkostningerne ved henholdsvis 2 og 20% skader ved samme bekæmpelsesstrategi, men med manuel styring af radrenseren.

Figure 20. The relationships between the costs of weed control (chemical, mechanical (inter-row hoeing with the FP-system, 6 passes) and weeding in the row) plus the value of the lost marketable yield and the level of steering damages on nursery cultures, shown for 3 selling price levels and at two different manual weeding needs as a result of the hoeing distance from the planting row. The horizontal lines indicate the costs at 2 and 20% damage, respectively, by the same control strategy but with manual steering.

4 Diskussion

Projektet er blevet en udviklingsproces i højere grad end en systematisk undersøgelse af automatiske styresystemer. Dette har været lærerigt for de involverede firmaer og for projektdeltagerne. Da det ikke har været muligt at følge alle de oprindelige projektplaner, vil vi supplere med vores mere subjektive erfaringer fra forløbet.

Den forsinkede og dermed forcerede opstart gav mange problemer og understregede vigtigheden af, at der også i praksis er tid til at lære systemerne at kende, inden de skal anvendes. Hvis systemerne skal fungere i en ikke kemisk strategi til bekæmpelse af ukrudt, er det vigtigt, at planer og timing kan overholdes. En af vore erfaringer er, at forudsætningerne for succes er bekæmpelse af ukrudt, inden afgrøderækkerne er store nok til at styre efter. ED har udstyr, og FP er på vej med systemer, der kan styre efter jordspor, men dette har vi ikke haft til rådighed i projektet. Alternativer til dette er herbicider (f.eks. jordmidler der hæmmer ukrudtsfremspiringen), gasbrænding ved afgrødens fremspiring, styring efter en række af hurtigt spirende frø (f.eks. karse), manuel styring ved første kørsel, håndlugning omkring styrerækken eller udplantning, som vi gjorde med kål i 2001. En investering i automatisk styring vil dog være mest attraktivt, såfremt systemet kan klare alle behandlinger.

Et generelt problem er detektion af systemernes pålidelighed og nøjagtighed ved måling af skade på afgrøderne. Når systemerne ikke fungerer af en eller anden årsag, vil styresystemet gå i neutral position. I sådanne tilfælde vil en skade på afgrøden være afhængig af, hvor præcis traktorføreren kører. En test af præcisionen af ED- og FP-systemerne ved Afdeling for Jordbrugsteknik, DJF har vist, at præcisionen reduceres væsentligt, hvis der laves udsving med traktoren (Søgaard *et al.*, 2002). Nøjagtigheden blev udtrykt som standardafvigelsen på afstanden fra en markeret linie ved radrensning og indtil midten af planterækken. Denne standardafvigelse øgedes fra 16 til 44 mm for ED og fra 16 til 20 mm for FP ved udsving med traktoren i forhold til lige kørsel. På skrånende terræn klarede systemerne sig omtrent lige så godt som på fladt terræn.

I forhold til projektets målsætninger er der følgende kommentarer:

1. Mulighederne for at kunne styre radrensere automatisk med en rimelig præcision og pålidelighed er undersøgt i meget forskellige kulturer og under forskellige betingelser. Systemerne er løbende udviklet i projektperioden, og ved afslutningen er det vores vurdering, at systemerne i den nærmeste fremtid vil være mindst lige så præcise og pålidelige som manuel styring. Dette kræver nogle forudsætninger, og en sikkert test af denne hypotese kan ikke leveres i dette projekt.
2. Mulighederne for at anvende automatisk præcisionsstyring til styring af ekstraudstyr påmonteret en radrenser til mekanisk bekæmpelse af ukrudt i selve kulturrækkerne, har ikke kunnet testes. Men test af præcisionen i dette og andre projekter (Søgaard *et al.*, 2002) har vist, at der ikke er nogen generel forskel på præcisionen af automatisk og

manuel styring, forudsat at systemerne fungerer efter hensigten. Dermed kan det med stor rimelighed antages, at de erfaringer man har med ekstraudstyr ved manuel styring kan overføres til situationer, hvor der styres med automatisk styring.

3. Bekæmpelseeffekterne mod ukrudt og eventuelle kulturskader ved anvendelse af mekanisk ukrudtsbekæmpelse baseret på automatisk styringsteknik er generelt ikke fundet forskellige fra manuel styring. Ved upræcis styring vil radrenseren selvfølgelig skade afgrøden i rækkerne. Større skader på afgrøderne skal undgås ved at optimere betingelserne og ved yderligere forbedringer af de automatiske systemer.
4. Anvendelsesmuligheder for automatisk præcisionsstyring af redskaber til ukrudtsbekæmpelse i gartnerier og planteskoler afhænger af fortsat udvikling af systemerne. Men med mulighed for ukrudtsbekæmpelse i afgrødens tidlige stadier vil systemerne have anvendelsesmuligheder i mange afgrøder. Her vil de i højere grad kunne forbedre arbejdsmiljøet og øge arbejdskapaciteten. Manuel styring kræver stor rutine og koncentration, hvilket de automatiske systemer ikke gør. Derfor vil mindre rutinerede traktorførere kunne udføre dette arbejde, og arbejdsopgaverne vil kunne fordeles mere fleksibelt på større produktionsenheder, og den daglige driftstid vil kunne øges.
5. Beregninger af de økonomiske konsekvenser for avleren viser, at automatisk styringsteknik rummer et betydeligt potentiale, hvis det kan erstatte en ekstra person til styring og/eller øge arbejdskapaciteten. Anskaffelsesprisen på automatisk styringsudstyr er af stor betydning på små arealer, men falder betragteligt ved stigende arealer. Fordelen stiger ved stigende areal, der behandles årligt med systemet. Såfremt automatisk styring kan øge mulighederne for at forbedre den mekaniske bekæmpelse af ukrudt i rækken ved brug af ekstraudstyr påmonteret radrenseren, vil det være muligt at opnå betydelige økonomiske såvel som tidsmæssige fordele i de grønsagsproduktioner, hvor der er et stort behov for manuel lugning af ukrudt i rækkerne. I vedplankulturer har skader på planterne dog væsentlig større betydning end udgifterne til håndlugning, og her vil præcisionen være meget afgørende. Båndsprøjtning kan generelt blive mere attraktiv med bedre styring, og teknikken rummer muligheden for at spare betydelige kemikaliemængder. I mange planteskoler og gartnerier bruges radrensning allerede udbredt men selve båndsprøjtningsteknikken mangler stadig at blive forbedret på flere punkter eksempelvis afskærmning mod støv og dyseteknik med bedre væskefordeling og afsætning.
6. Kapaciteten kan antageligt øges ved automatisk styring, og dermed reduceres tidsforbruget pr. areal. Vi har set tendenser til, at præcisionen øges ved øget hastighed, og systemerne giver mulighed for at opbygge radrenserne i flere sektioner. Desuden kan driftstiden øges, og mindre rutinerede chauffører kan køre med redskabet.
7. Energiforbruget er det samme for manuel og automatisk styring af radrenserne. Energiforbruget ved mekanisk ukrudtsbekæmpelse er højere end ved kemisk bekæmpelse, og erstattes kemisk bekæmpelse

med mekanisk vil forbruget stige. Gasbrænding vil betyde et markant større energiforbrug.

Automatiske styresystemer - fordele og ulemper

Ved de aktuelle afprøvninger er der ikke fundet væsentlige forskelle i præcision og sikkerhed. Alligevel kan vi godt pege på nogle fundamentale forskelle på de afprøvede og andre kendte styresystemer, som kan være fordele eller ulemper i forskellige situationer.

ECO-DAN LPS (www.eco-dan.dk): For dette system er rækkestrukturen det essentielle. Systemet virker p.t. meget stabilt, når der er tydelige rækker. Systemet kan stabiliseres yderligere ved anvendelse af to kameraer, hvis rækkerne er mindre tydelige. Ukrudt mellem rækkerne forstyrrer billedet, men det er usikkert i hvor høj grad dette løses ved at bruge to kameraer. ED har udviklet et system til brug, før rækkerne kan detekteres. Laserlys rammer et jordspor og kan detekteres med samme kamera, som så senere kan bruges på rækkerne. Præcisionen af dette system er den samme som styring efter rækker, det vil sige en standardafvigelse på ca. 15 mm (Søgaard *et al.*, 2002). Når dette system virker, er der et færdigt koncept til at renholde mellem rækkerne i almindelige rækkeafgrøder. ED har frem til 2002 solgt ca. 125 styresystemer i Danmark (ca. 50), Vesteuropa, USA, Canada og Japan. Prisen på ATC systemet med ét kamera og elektrisk styresystem til radrenser er ikke oplyst.

Frank Poulsen Autopilot (www.fp-engin.dk): Dette system er i højere grad end ED baseret på de enkelte afgrødeplanter i rækken. Under projektet og også fremover udvikles systemet mod i højere og højere grad at kunne adskille afgrøde og ukrudt på størrelse og form. Dette er meget ambitiøst og tager derfor også megen tid. Under projektet er der således brugt meget tid på manuelle justeringer, som i en endelig version skal automatiseres. På kort sigt er dette en svaghed ved dette system, men på lang sigt vil det give mulighed for at tilpasse sig specialafgrøder og bekæmpe ukrudt i selve rækken. FP har også et system på tegnebrættet, der med en mekanisk føler kan styre efter jordspor, før der kan styres efter rækken. FP har i 2002 haft 3 styresystemer til afprøvning hos praktikere i Danmark og egentligt salg forventes at starte i 2003. Pris på Auto Pilot inkl. hydraulisk styresystem til radrenser: ca. 25.000 kr.

AEGIS: Som beskrevet er dette system ikke afprøvet og kun set fungere i en meget tidlig version. Til forskel fra visionsystemerne er dette system uafhængig af både afgrøde og ukrudt, hvilket projektet har vist kunne være fordelagtigt. Hvis der kan laves markører med forskellig holdbarhed, kunne man f.eks. køre i flerårige afgrøder også selv om rækkerne lukker. Dette kan ikke lade sig gøre med vision systemer. Robert Tucker arbejder stadig på dette system, men han arbejder alene med meget begrænset økonomisk støtte. Systemet er ikke markedsført, og prisen kendes ikke.

ROBOCROP vision system (forhandler: <http://www.garford.com>) er et kommercielt engelsk computervision system, som oprindeligt er udviklet på Silsoe Research Institute (Tillett & Hagur, 1999; Tillett et al., 2002). Dette system er også baseret på et digitalt videokamera, men til forskel fra de to danske systemer ser man her på 3 til 5 rækker i hvert billede. Dette har den fordel, at enkelte afvigende eller manglende afgrødeplanter og ukrudtsplanter mellem rækkerne ikke påvirker styringen. Det angives, at dette system

fungerer med op til 12 km/t og kan monteres på en 18 rækkes (9 m) radrenser. Systemet anvendes kommercielt i sukkerroer, korn, gulerødder, løg, porre, kål, bønner, pastinak og græskar. Systemet har været solgt kommercielt i to år: 12 i England og 1 på New Zealand. Pris: ca. 90.000 kr. Nick Tillett fra Silsoe Research Institute (personlig kommunikation, 2003) fremhæver, at Robocrop har vist sig at være mere præcis end manuel styring - standardafvigelse for Robocrop er blevet målt til 9-12 mm ved op til 10 km t⁻¹. Systemet har endvidere været evalueret til brug i forbindelse med båndsprøjtning i roer, og her har det vist et tydeligt potentiale for at kunne styre både en båndsprøjte og en radrenser, når båndbredden er ca. 15 cm (Wiltshire *et al.*, 2003). Denne båndbredde vurderes at kunne nedsætte herbicidforbruget med mindst 70% i forhold til almindelig bredsprøjtning. Nick Tillett mener, at automatisk styring i forhold til eksisterende manuelle styresystemer vil kunne øge arbejdskapaciteten, ikke kun som følge af en højere kørehastighed, men også fordi det vil være muligt at kunne radrense over flere såbredder samtidigt. Også det ubearbejdede bånd omkring afgrøderækken vil kunne formindskes yderligere, føler han sig overbevist om.

Andre automatiske styresystemer

Ifølge de oplysninger vi har kunnet indhente, er der ikke andre lignende kamerabaserede styresystemer til automatisk styring af markredskaber. I Australien har man udviklet et kamerabaseret automatisk styresystem til styring af selve traktoren i rækkeafgrøder (<http://www.clears.com.au/vgs.htm>) - en løsning meget analog til Frank Poulsens forsøg på styring af selve traktoren. Systemet er mest ment som en aflastning for traktorchaufføren under arbejde med redskaber i rækkeafgrøder, og det hævdes at kunne arbejde med en bemærkelsesværdig præcision (+/- 2,5 cm afvigelse), som dog ikke er nok til en egentlig finstyring af det arbejdende redskab. Systemet har ikke været dokumenteret i den videnskabelige litteratur.

Der findes også GPS-baserede styresystemer på markedet (eksempelvis Autopilot fra USA (<http://www.nielsencomm.com/ats/autouse.htm>)), som mest er udviklet til at støtte traktorchaufføren under etablering af lige sårækker med en rimelig præcis afstand mellem rækkerne. Systemerne markedsføres også som en god støtte og mental aflastning for chaufføren under kørsel og styring i rækkeafgrøder med eksempelvis radrensere, men systemerne giver ingen finstyring af redskaberne og kan som sådan ikke erstatte de potentialer, de undersøgte styresystemer i nærværende rapport er tiltænkt.

5 Konklusioner

Erfaringerne og resultaterne i projektet har vist, at automatisk præcisionsstyring kan være lige så præcist som manuel styring, når der er en tydelig rækkestruktur med symmetriske afgrødeplanter, som er tydeligt større end de tilstedeværende ukrudtsplanter. Afgrødeplanterne skal have en vis størrelse både absolut (ca. 2-5 cm² bladareal) og i relation til ukrudtet. Jo mindre afgrødeplanter, jo større er styresystemernes følsomhed overfor ukrudt. Derfor er begge systemers succes betinget af muligheder for at kunne bekæmpe ukrudtet, før det er muligt at styre efter selve planterækkerne.

Når den optimale situation ikke har været til stede, har systemerne ikke været pålidelige.

Ved hver ny situation var der behov for justeringer i systemernes opsætning og ofte uden succes. Forsøgsbetingelserne har dog heller ikke været optimale for systemerne, hvilket har påvist mange af systemernes begrænsninger.

Rækkerne skal være homogene uden spring. Større skader ved tidlige kørsler kan således besværliggøre senere kørsler. Dog er det således, at begge de automatiske styresystemer går i neutral position, hvis der ikke er noget signal. Da traktorføreren kan se, hvor der mangler planter, kan en øget koncentration her forebygge skader.

ECO-DAN har udviklet et system, og Frank Poulsen Aps. arbejder p.t. på et system, der kan styre efter et jordspor lavet af en såmaskine eller plantemaskine. Antages det, at disse systemer styrer ligeså præcist efter jordspor som efter rækker, vil der være et stort potentiale for ikke kemisk ukrudtsbekæmpelse i næsten alle rækkeafgrøder. I langsomt spirende afgrøder kan der som alternativ til radrensning efter jordspor f.eks. ukrudtsharves, gasbrændes eller sprøjtes med et 'take all' herbicid før fremspiring. Efter fremspiring kan der også køres efter jordspor, hvis ikke der kan køres efter rækkerne. Jordsporet vil kun kunne bruges én gang og vil skulle trækkes op igen efter hver rensning. Desuden kan sporenes tydelighed være følsomme for regn og stenede marker.

Variere forudsætningerne i de økonomiske og energimæssige analyser er det muligt at danne sig et overblik over hvilke faktorer, der er væsentlige for brugen af automatisk styring til radrensning i rækkeafgrøder. Faktorerne kan samles i følgende punkter rangordnet efter betydning:

- Styresystemerne skal kunne leve op til mindst samme præcision, som det kendes for manuelt styrede redskaber og helst mere.
- Forvolder de automatiske styresystemer skader på kulturerne, kan det medføre betydelige tab, som hurtigt vil gøre automatisk styringsteknik uaktuel i forhold til manuel styring, forudsat at den manuelle er mere præcis og pålidelig.
- En nedsættelse af anskaffelsesprisen vil fremme interessen og rentabiliteten, især for ECO-DAN systemet med mindre den højere pris dækker over andre fordele, f.eks. servicebetingelser, betjeningsvenlighed, fleksibilitet og driftssikkerhed

- Rentabiliteten i brugen af automatisk styring vil generelt stige:
 - ⇒ ved anvendelse på store arealer årligt, f.eks. ved samtidig anvendelse i landbrugsrækkeafgrøder eller ved maskinstationskørsel
 - ⇒ hvis fremkørselshastigheden og dermed arbejdskapaciteten kan øges i forhold til manuel styring
 - ⇒ med antallet af kørsler med manuel styring, som kræver en ekstra person til styring, og som automatisk styring vil kunne erstatte
 - ⇒ hvis den daglige driftstid kan øges i forhold det mulige ved manuel styring
- Automatisk styring vil kunne bidrage til en reduktion af herbicidforbruget i den konventionelle kål dyrkning, fordi rent ikke-kemiske bekæmpelsesstrategier baseret på radrensningsteknik vil blive nemmere at gennemføre og sandsynligvis også med en højere arbejdskapacitet. I dyrkningen af konventionelle såløg vil automatisk styring kunne fremme brugen af båndsprøjtning, fordi styringskravene får mindre betydning. Båndsprøjtning forventes at kunne reducere herbicidforbruget med 70 til 80% på rækkeafstande på 50 cm. I planteskolekulturer forventes automatisk styring kun at få en begrænset betydning for herbicidforbruget, da forbruget mest er som jordmidler anvendt tidligt på vækstsæsonen. Håndlugning af ukrudt i rækkerne er ofte nødvendigt, og tidsforbruget til denne opgave kan sandsynligvis halveres, hvis automatisk styringsteknik kan gøre det muligt at radrense tættere på rækkerne.
- Automatisk styringsteknologi kan nedsætte energiforbruget til den mekaniske ukrudtsbekæmpelse, hvis teknikken kan øge arbejdskapaciteten ved radrensning. Styringsteknologien kan endvidere gøre det muligt at målrette termisk ukrudtsbekæmpelse, f.eks. flammebehandling, til kun at foregå i selve afgrøderækken, hvorved der kan spares op til 60% af det energiforbrug, som normalt anvendes ved almindelig fladebrænding.

6 Referencer

Andersen, L. *et al.* (2002) Vurdering af muligheder for forebyggelse og alternativ bekæmpelse i planteskoler. Miljøstyrelsen DJF-rapport under udgivelse.

Anon., SAS/STAT™ Guide for personal computers. Version 6 edition. 1028 pp. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. ISBN 1-55544-064-9. 1987.

Damm, M.L. (2002) Projekt Grøn Planteskole drift er afsluttet - hvad kom der ud af det? Gartnertidende nr. 31, 24-25.

Henriksen, K. *et al.* (2002) Vurdering af muligheder for forebyggelse og alternativ bekæmpelse i frilandsgrønsager. Miljøstyrelsen DJF-rapport under udgivelse.

Irla E. (1989) Bandspritzung und Hacken in Zuckerrüben und Mais. Verfahrensvergleich der Unkrautbekämpfung. FAT-Berichte, Tänikon, Svejts, 1-11.

Irla E. (1995) Anbautechnik und Unkrautregulierung bei Ackerbohnen. FAT-Berichte Nr. 460, Tänikon, Svejts, 1-6.

Looman B.H.M., Lutterveld G.J. & Kouwenhoven J.K. (1999) Intra-row mechanical weed control in nursery stock. 11th EWRS Symposium Basel 1999, 123.

Melander B. (1998) Economic Aspects of Physical Intra-Row Weed Control in Seeded Onions. Proceedings of the 12th International IFOAM Scientific Conference, Mar del Plata, 180-185.

Melander B. (2000) Mechanical weed control in transplanted sugar beet. Proceedings of the 4th EWRS Workshop on Physical Weed Control. Elspeet, NL, 20-22 March, 2000, p. 25. (<http://www.ewrs.org/physical-control/meeting.htm>).

Melander B. & Hartvig P. (1997) Yield responses of weed-free seeded onions [*Allium cepa* (L.)] to hoeing close to the row. Crop Protection, 16 (7), 687-691.

Melander B. & Rasmussen G. (2001). Effects of cultural methods and physical weed control on intrarow weed numbers, manual weeding and marketable yield in direct-sown leek and bulb onion. Weed Research, 41 (6), 491-508.

Melander B., Korsgaard M. & Willumsen J. (1999) Resultater og erfaringer med ukrudtsbekæmpelse i økologiske frilandsgrønsager. 16. Danske Planteværnskonference / Plantebeskyttelse i økologisk jordbrug / Sygdomme og skadedyr, 85-95.

Pleasant J.M., Burt R.F. & Frisch J.C. (1994) Integrating Mechanical and Chemical Weed Management in Corn (*Zea mays*). Weed Technology, 8, 217-223.

Rasmussen J. (1996) Automatisk præcisionsstyring i ukrudtsbekæmpelsen. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 80, 42 pp.

Rasmussen J. (1997) Ingen trussel for miljøet. Jord og Viden 1997, nr. 21, s. 8-10.

Søgaard H.T., Jørgensen, M.H. & Nielsen P.S. (2002) Præcision ved automatisk styring af radrensere. Grøn Viden, Markbrug nr. 268, 4 pp.

Søgaard H.T. & Melander B. (2000) Automatisk styring af redskaber til ukrudtsbekæmpelse i rækkeafgrøder – tekniske og biologiske aspekter. 17. Danske Planteværnskonference 2000, DJF-rapport nr. 24, 45-57.

Tillett N.D. & Hague T. (1999). Computer vision based hoe guidance - an initial trial. Journal of Agricultural Engineering Research 74, 225-236.

Tillett N.D., Hague T. & Miles S.J. (2002). Inter-Row vision guidance for mechanical weed control in sugar beet. Computers and Electronics in Agriculture 33, 163-177.

Weide R.v. & Bleeker P. (2000) Status of the weed control in arable production and vegetables in the Netherlands. Proceedings of the 4th EWRS Workshop on Physical Weed Control. Elspeet, NL, 20-22 March, 2000, p. 1. (<http://www.ewrs.org/physical-control/meeting.htm>).

Wiltshire J.J.J., Tillett N.D. & Hague T. (2003). Evaluation of an automatic vision guided hoe for weed control in sugar beet. Weed Research (in press).

Ørum J.E. & Christensen J. (2001) Produktionsøkonomiske analyser af mulighederne for en reduceret pesticidanvendelse i dansk gartneri. Rapport til Miljøstyrelsen, Kirsten Jensen. Revideret udgave 1. oktober 2001.

Anvendte internetadresser

www.eco-dan.dk

www.fp-engin.dk

www.garford.com

www.clears.com.au/vgs.htm

www.nielsencomm.com/ats/autouse.htm

Appendix A

De væsentligste værdier for beregningerne af økonomi samt brændstof- og tidsforbrug

1. Afskrivningsperiode for traktor og redskaber: 10 år
2. Rente: 8%
3. Timeløn til traktorchauffør og lugere: 120 kr.
4. Udgangsbestand af ukrudt: 100 pl. m²
5. Årligt grønsagsareal som redskaberne anvendes på: 10 ha
6. Arbejdskapacitet radrenser: 1 ha/time for grønsager og 0,5 ha/time for planteskolekulturer (20% til vendinger)

ukrudtsharve:	2 ha/time (20% til vendinger)
flammebehandling:	1,4 ha/time (20% til vendinger)
12 m marksprøjte:	3,4 ha/time (43% til vendinger og fyldning)
7. Afskrivning af traktor (værdi 100.000 kr./400 driftstimer/år): 35 kr./time
8. Priser ved nyanskaffelse, radrenser (5 rk.): 37.000 kr.

ukrudtsharve (5 m):	20.600 kr.
brænder med tank (3 m):	109.000 kr.
Frank Poulsen styresystemet:	28.500 kr.
ECO-DAN styresystemet:	41.000 kr. kun til kål

74.289 kr. til såløg
9. Kørselsudgifter til sprøjtning: 60 kr./ha
10. Årlige reparationsudgifter til flammebehandler: 3.823 kr.
11. Gaspris (tankgas) ved 50 kg gas/ha: 399 kr.
12. Brændstofudgifter og reparationsudgifter til traktor: 40 kr./time
13. Vedligeholdelsesudgifter til radrenser og harve: 30 kr./ha
15. Parametre til udregning af lugetid efter mekanisk bekæmpelse:

Tidsforbrug til gennemgang af rækker uden ukrudt:	8 timer/ha ved udplantede kulturer	22 timer/ha ved såede kulturer
Tidsforbrug for lugning af hver ukrudsplante m ² i rækken:	29 min./ha ved udplantede kulturer	52 min./ha ved såede kulturer
16. Energiværdien af tankgas: 1 kg gas svarer til 0,9 l diesel
17. Traktorens dieselforbrug: 10 l / time
18. Kemikaliepriserne følger de vejledende priser i grovvarehandlen