September 1999

DJF rapport

Nr. 16 • Markbrug

Martin Heide Jørgensen, Bo Melander, Jens Petersen (reds.),
Rikke Klith Jensen, Hans Jørgen Olsen, Karl Johan Rasmussen,
Per Schjønning og Henning Tangen Søgaard

Perspektiver for dyrkning af korn, raps og bælgsæg efter et rækkedyrkningskoncept

Perspective cropping of cereal, rape and pulse according to a row cropping concept

Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Danmarks JordbrugsForskning

Perspektiver for dyrkning af korn, raps og bælgsæd efter et rækkedyrkningskoncept

Martin Heide Jørgensen, Hans Jørgen Olsen,
Karl Johan Rasmussen og Henning Tangen Søgaard
Forskningscenter Bygholm
Afdeling for Jordbrugsteknik
Postboks 536
DK-8700 Horsens

Bo Melander, Rikke Klith Jensen
Forskningscenter Flakkebjerg
Afdeling for Plantebeskyttelse
Flakkebjerg
DK-4200 Slagelse

Jens Petersen og Per Schjønning
Forskningscenter Foulum
Afdeling for Plantevækst og Jord
Postboks 50
DK-8830 Tjele

DJF rapport Markbrug nr. 16 • september 1999

Udgivelse:	Danmarks JordbrugsForskning Forskningscenter Foulum Postboks 50 8830 Tjele	Tlf. 89 99 19 00 Fax 89 99 19 19
Løssalg: (incl. moms)	t.o.m. 50 sider t.o.m. 100 sider over 100 sider	50,- kr. 75,- kr. 100,- kr.
Abonnement:	Afhænger af antallet af tilsendte rapporter, men svarer til 75% af løssalgsprisen.	
Forsideillustration:	Resultat af automatisk detektering af afgrøderækker ved hjælp af digital billedbehandling	
Front page illustration:	Result from automatic row crop detection by means of computer vision	

Indholdsfortegnelse

Sammendrag 5

Summary 7

Kapitel 1
Indledning, projektidé og -plan 10
Martin Heide Jørgensen

Kapitel 2
Rækkedyrkning 12
Bo Melander og Rikke Klith Jensen

Kapitel 3
Tekniske og agronomiske aspekter ved pløjefri dyrkning 22
Karl Johan Rasmussen

Kapitel 4
Effekt af pløjefri dyrkning på jorden 37
Karl Johan Rasmussen og Per Schjønning

Kapitel 5
Gødningsplacering i et rækkedyrkningskoncept 49
Jens Petersen

Kapitel 6
Mekanisk ukrudtsbekæmpelse ved rækkedyrkning samt teknik til ukrudtsbekæmpelse 55
Bo Melander, Martin Heide Jørgensen og Rikke Klith Jensen

Kapitel 7
Rækkestyring 66
Henning Tangen Søgaard og Hans Jørgen Olsen

Contents

Summary in Danish 5

Summary 7

Chapter 1
Introduction, idea and plan of project 10
Martin Heide Jørgensen

Chapter 2
Row cropping 12
Bo Melander and Rikke Klith Jensen

Chapter 3
Technical and agronomical aspects of reduced tillage 22
Karl Johan Rasmussen

Chapter 4
Reduced tillage and direct drilling – effects on soil properties 37
Karl Johan Rasmussen and Per Schjønning

Chapter 5
Placement of fertiliser in a row cropping concept 49
Jens Petersen

Chapter 6
Mechanical weed control of row cropping and techniques for weed control 55
Bo Melander, Martin Heide Jørgensen and Rikke Klith Jensen

Chapter 7
Row guidance 66
Henning Tangen Søgaard and Hans Jørgen Olsen

Sammendrag

Nærværende redegørelse er udarbejdet som et led i et forskningsprojekt vedr. rækkedyrkning. Formålet med redegørelsen er at sammenstille erfaringer fra tidligere forsøg og undersøgelser med henblik på at definere et nyt dyrkningssystem vedrørende rækkedyrkning. Redegørelsen har i denne forbindelse specielt til formål at dokumentere, hvilke elementer der i systemet kan defineres ud fra kendt viden, og hvilke områder, der kræver nærmere studier. Projektet omfatter radrensning, placering af gødning i etablerede afgrøder samt pløjefri såning mellem stubrækker fra foregående afgrøde. I projektet behandles de 3 dyrkningsoperationer særskilt, men via et specifikt dyrkningssystem arbejdes der endvidere i det igangværende forskningsprojekt med at optimere mulige synergieffekter med henblik på at opnå en bedre ukrudtskontrol samt et forbedret resultat af pløjefri dyrkning. I tilknytning til ovenstående indbefatter projektet også forskning i anvendelse af digital billedanalyse til lokalisering af rækkestrukturer i kornafgrøder. Målet er at blive i stand til at designe et automatisk styresystem til fremføring af de nævnte redskabselementer.

Vægtningen af indholdet i denne redegørelse er afstemt efter fokusområderne i forskningsprojektet, hvor der primært arbejdes med kornafgrøder, men der indgår også undersøgelser med raps og bælgsæd. For at kunne arbejde selektivt i rækkemellemrum i forhold til afgrøderækker, er det nødvendigt med en vis rækkeafstand. I projektet er denne fastsat til 24 cm for kornafgrøder. Dette giver et forventet udbyttetab i størrelsesordnen 6%, jf. kapitel 2. Udbytte-reduktionen har i tidligere forsøg haft ringe vekselvirkning mellem sorter og udsædsmængde. Placering af gødning i etablerede afgrøder kan bidrage til at forbedre afgrødens konkurrenceevne over for ukrudt, og det forventes derfor, at der kan opnås en mere effektiv ukrudtsbekæmpelse ved anvendelse af mekaniske metoder. Den mekaniske renholdelse for ukrudt bidrager til at udtømme det øvre jordlag for spiredygtige ukrudtsfrø, hvilket medfører et lavere ukrudtstryk det efterfølgende år, under forudsætning af, at der sås direkte uden vendende jordbearbejdning. Såning mellem stubrækker fra den foregående afgrøde giver mulighed for at placere udsæden uden kontakt med afgrøderester, som kan virke spirehæmmende. I forhold til det overordnede systemdesign ønskes følgende to forhold analyseret:

- Kan effekten af ukrudtsbekæmpelsen forbedres ved placering af gødning, og kan ukrudtstrykket i afgrøderækken reduceres efter direkte såning i en jord, som er mekanisk renholdt for ukrudt i den foregående vækstsæson?
- Kan resultatet af direkte såning forbedres ved såning i sort jord mellem stubrækker fra tidligere afgrøder?

Med hensyn til udvikling af tekniske systemer til direkte såning under de nævnte forhold har litteraturstudierne udpeget følgende områder til nærmere analyser:

- Hvorledes kan der gennemføres en lokal jordbearbejdning, så der opnås en god planteetablering?
- Hvor meget er det muligt at begrænse den skadelige pakning i dybden, og hvorledes reetableres et fortættet jordlag i de øverste 10-15 cm?
- En af de helt centrale problemstillinger er at holde marken rimelig jævn i et dyrkningssystem, hvor næsten alle dyrkningsoperationer gennemføres ved rækkebehandling.

Pløjefri dyrkning har afgørende indflydelse på jordens fysiske egenskaber og dermed på vand-, luft- og temperaturforhold. Som nævnt, består udfordringen derfor i at begrænse de negative effekter i form af risiko for komprimering og at fremme opbygningen af en jord, der kan sikre god og stabil plantevækst.

I projektet arbejdes der med 3 forskellige systemkoncepter: Ét baseret på en "løftende" jordbearbejdning med en fjedertand eller lign., et andet baseret på anvendelse af skiveskær og et tredie baseret på et aktivt drevet bearbejdningsorgan i form af en rækkefræser.

Systemerne forbedres interaktivt løbende, men pga. de forskellige systemkoncepter er det muligt at følge indflydelsen på centrale jordfysiske parametre:

- De 3 systemkoncepter følges med hensyn til effekten på komprimering af de øvre jordlag samt komprimeringen lokalt omkring området, hvor udsæden placeres.

Konventionel pløjefri dyrkning har via et plantedække på jordoverfladen en reducerende indflydelse på erosionsproblemer. I det beskrevne system er der risiko for, at der kan forekomme erosion på langs af såretningen. Dette behandles ikke specifikt i de planlagte aktiviteter, men på arealer, hvor der opstår problemer, vil disse kunne imødegås ved at sprede planteresterne over hele arealet efter såning.

Vedrørende placering af gødning er den overvejende del af de publicerede forsøgsresultater opnået ved placering i forbindelse med såning i pløjet jord. Der er derfor centrale ubesvarede spørgsmål vedrørende placering i etablerede afgrøder efter direkte såning:

- De ændrede forhold mht. jordvand og afgrødens rodudvikling må forventes at have principiel indflydelse på placeringsgeometri og timing
- Tidligere forsøg har udelukkende været evalueret på baggrund af kerneudbytte. I nærværende forsøg er det herudover forholdene under busknings- og strækningsfasen, der har interesse, idet det er disse faktorer, der har betydning for afgrødens konkurrenceevne over for ukrudt.

Tidligere forsøg har vist, at en øget rækkeafstand i korn i sig selv har en positiv indflydelse på mulighederne for at opnå en effektiv ukrudtsbekæmpelse ved anvendelse af mekaniske metoder, idet rækkerne forekommer mere robuste, og der dermed kan opnås en bedre selektivitet. Effekten af ukrudtsharvning kan derfor forbedres, men i de tilfælde, hvor strigling ikke er tilstrækkelig, kan der opnås en mere sikker bekæmpelse ved radrensning. I forventning om, at det gennem projektperioden vil blive muligt at styre radrenseren præcist ved store hastigheder, fokuseres der på følgende udviklingsområder:

- Radrenseren skal designes til at arbejde tættere på afgrøden, uden at der sker afgrødeskade og således, at jordkastningen ind i afgrøderækken kan kontrolleres uafhængigt af fremkørselshastigheden
- Pga. den relativt tætte rækkeafstand er det vigtigt, at der tages forbehold for at opnå en god gennemgang for afgrøderester og evt. sten
- Der er mange positive erfaringer med efterredskaber på radrensere, men disse er ikke fuldt systematiserede. Generelt er der ikke stor erfaring med radrensning i afgrøder, som er etableret ved pløjefri dyrkning.

Skal rækkedyrkning vinde udbredelse i praktisk landbrug, er det en afgørende og nødvendig faktor, at det lykkes at udvikle et præcist og pålideligt styringssystem, som kan fungere ved høje hastigheder på op til ca. 12 km/h. Internationalt arbejdes der meget med digital billedbehandling til dette formål, da det giver potentiale for en berøringsfri detektion og mulighed for at opnå stor fleksibilitet. De primære uløste problemstillinger er følgende:

- Systemet skal kunne fungere ved varierende lysforhold
- Der er store krav til beregningstider af hensyn til at opnå en rimelig præcision i redskabsstyringen under fremdrift.

Summary

The present report has been prepared in connection with a research project on row cropping. The report gives a comparison of experiences from previous experiments and investigations with a view to defining a new type of row cropping system. A specific aim of the report is to document which of the system elements can be defined on the basis of available knowledge, and which areas should be studied further. The project comprises studies into inter-row tillage, placement of fertiliser in established crops and reduced inter-row tillage in stubble areas of previous crops. Separate studies of these three cropping operations were made. However, attempts are moreover made to optimise potential synergetic effects of the operations by means of a specific cropping system with reference to obtaining improvements in weed control and improved results from reduced tillage. In relation to this, the project has included research into the use of computer vision analyses for localisation of row patterns of grain crops with the aim of designing a system for precise operation of the implements for the three operations.

The primary crop used in the project has been grain, but experiments with rape seed and peas were also made. This is reflected by the emphasis attached in the report to the individual crops. In order to perform selective weed control in row intervals without damaging the crops in the rows, a certain row spacing will be needed. The row spacing used in the project was set at 24 cm for grain crops. For this row spacing, an expected yield loss in the order of 6% can be expected, cf. Chapter 2. Previous tests have shown that the interplay between crop types and amounts of seed only had a slight effect on the yield reductions. The placement of fertiliser in established crops may contribute to improving the competitiveness of crops in relation to weeds. As such, a more effective weed control is expected to be obtained from the use of mechanical methods. Providing that seeding is done directly without turning over the soil, mechanical weed control will contribute to minimise the content of weed seeds capable of germinating in the topsoil, thereby obtaining a reduction in the occurrence of weeds the following year. To avoid contact between seeds and crop residues, which may impede the crop germination process, the seeds may be placed in the intervals between the rows of stubble from the preceding crop. In relation to the overall system design, the two following conditions should be analysed:

- Will weed control improvements be obtained by placement of fertiliser, and will it be possible to reduce the impact of weeds on row crops after direct seeding in soil where mechanical weeding of the previous crop has been made?
- Can the results obtained from direct seeding be improved by sowing in the black soil between rows of stubble from the preceding crop?

With regard to the development of systems for direct seeding under the mentioned conditions, the following topics were selected from the literature studies for further analysis:

- How can local soil preparation resulting in satisfactory establishment of plants be obtained?
- To what extent can reductions of harmful downward soil packing be obtained, and what should be done to reestablish the upper 10-15 cm of concentrated soil layers?
- What should be done to maintain fairly uniform field conditions in a tillage system where row cropping is the most common tillage method?

Reduced tillage will have a considerable influence on the physical soil properties and by that also on the conditions of water, air and temperature. As mentioned before, it will be a chal-

lenge to limit the negative effects, i.e. the risks of soil compaction, as well as to encourage soil improvements to ensure healthy and constant vegetation.

The project deals with three different system concepts, the first one being based on "loosening" soil preparation by use of elastic tines. The second system concept is based on the use of disc coulters, and the third one on an actively operated soil preparation tool in the form of a rotary row cultivator.

The systems will be subjected to continuous interactive improvement. However, the different system concepts will make it possible to follow the influence on central soil physical parameters.

- The effects of topsoil compaction and local compaction around the area where the seeds are placed will be followed for the three system concepts.

As regards placement of fertiliser, the major part of the published test results has involved placement of fertiliser in established crops after direct seeding.

- Changes in soil conditions in relation to the occurrence of ground water and the root development of crops are expected to have a significant influence on the geometry and timing of the placement of fertiliser.
- Evaluations from previous surveys have exclusively been made on the basis of the yield of seeds. In the present survey, the conditions found during the phases that involve the early growing stage are also of interest, because these are important factors for the competitiveness of the crop in relation to weeds.

From previous surveys it was seen that increases in the spacing between rows of grain will have a positive influence on the potentials for obtaining effective weed control by use of mechanical methods. More robust crop rows will be obtained, which will lead to improvements in selectivity. The effect of weed harrowing may therefore be improved. However, in the case of insufficient weeding, a more reliable weed control will be obtained by means of inter-row tillage. In the expectation that accurate guidance of weed harrows at high speed will become possible during the project period, the following fields of development will be in focus:

- Inter-row cultivators should be designed for close tillage without damaging the crop. Moreover, it should be possible to control the amount of soil which will be thrown into the crop rows, independently of the forward speed of the machine.
- Because of the relatively close row spacing involved with inter-row tillage in grain crops, certain reservations should be made against occurrences of crop residues and stones in order to improve the performance of the implement.
- Much positive experience with tools mounted on inter-row cultivators has been obtained. However, the knowledge have not been fully systematised. In general, only little experience has been obtained on inter-row tillage in crops established in a reduced tillage cropping system.

For the concept of row-cropping to gain ground within practical farming, a successful development of an accurate and reliable control system for operations at high speeds of up to 12 km/h is a crucial and necessary precondition. For this purpose, digital image processing will be carried out frequently on an international basis in order to obtain potentials for detection of weeds without contact with the crop and for the achievement of high flexibility.

The primary unsolved problems are as follows:

- The system must be functional under variable lightning and crop/weed conditions.
- Heavy demands are made to the amount of time spent for calculation, in order to obtain reasonable accuracy in the control of the implement during weeding.

Kapitel 1

Indledning, projektidé og -plan

Martin Heide Jørgensen

Nærværende redegørelse er udarbejdet som led i projektet "Rækkedyrkning – planteetablering og plantepleje (DJF-tek-97-2)". I projektet defineres og udvikles et koncept for et dyrkningssystem, hvor muligheden for rækkedyrkning udnyttes i stort omfang. Formålet med denne redegørelse er at tilvejebringe viden fra tidligere gennemførte studier, som kan bidrage til definition og underbyggelse af det beskrevne dyrkningskoncept. En vigtig hensigt med redegørelsen er at afdække og præcisere områder, som kræver yderligere undersøgelser.

Der sigtes primært mod:

- En reduktion af behovet for herbicidanvendelse
- Opnåelse af en forbedret planteudnyttelse af tilførte næringsstoffer
- Reduktion i maskinindsatsen med en forbedret produktionsøkonomi til følge.

En sekundær effekt af rækkedyrkningssystemet forventes at være en reduktion af problemerne med jordpakning og erosion samt forbrug af fossil energi.

I projektet arbejdes der primært med kornafgrøder, men traditionelle rækkeafgrøder indgår også i arbejdet. I teknisk sammenhæng opfattes en afgrøde som sået på række, når der kan udføres arbejdsoperationer, i hvilke der arbejdes selektivt i rækkemellemrum og afgrøderække, f.eks. ved radrensning. I afgrøder som f.eks. korn, der normalt radsås, kræver dette en øget rækkeafstand, hvorimod dette ikke er tilfældet for traditionelle, rækkesåede afgrøder som f.eks. roer og majs.

En dokumenterbar optimering af rækkeafstand for konkrete afgrøder vil kræve en kompleks analyse og tilpasning af de tekniske og biologiske muligheder og interaktioner. Dette er ikke indeholdt i nærværende projekt, hvor de anvendte rækkeafstande baseres på studier og analyse af tidligere gennemførte forsøg. Hvis konceptideen viser sig at holde stik, vil en optimering af rækkeafstande være et naturligt videre skridt i udviklingen.

Der arbejdes med en agronomisk indsats, hvor dyrkningssystemet udvikles ud fra en helhedsorienteret indgangsvinkel. I tilknytning hertil arbejdes der med følgende selektive dyrkningsoperationer, hvor de forskellige redskabselementer og de dyrkningsmæssige grundlag og kravsspecifikationer samtidig skaffes til veje.

- Ukrudtsbekæmpelse gennemføres primært ved radrensning, kombineret med strigling og evt. båndsprøjtning efter behov
- Gødning placeres i alle afgrøder - også ved forårsgødskning i vinterafgrøder. Dette har primært til formål at øge kulturafgrødens konkurrenceevne over for ukrudt.
- Direkte såning foretages i rækkemellemrummene fra den foregående afgrøde. Dette kan give følgende fordele:
  - En forventet reduktion i ukrudtstrykket i planterækken, hvis såteknikken udvikles, så der sker en minimal opblanding af jord fra dybereliggende lag, idet frøpuljen i det øvre jordlag er udtyndet pga. tidligere års radrensning
  - Muligheden for at gennemføre såningen i sort jord, hvorved en forbedret kvalitet af såbedet kan opnås. Strengen med sort jord i det tidligere rækkemellemrum opnås ved at samle afgrøderester om stubrækkerne.

I forsøgene gennemføres ovenstående selektive dyrkningsoperationer ved anvendelse af manuel styring, idet redskaberne monteres og fremføres med en redskabsbærer. Af hensyn til at opnå forbedring af den praktiske implementering af et automatisk system arbejdes der i et selvstændigt delprojekt med udvikling af en visionbaseret rækkesensor, som vil kunne anvendes til opbygning af et sådant styresystem uden nogen form for mekanisk rækkeføler.

Der er planlagt en løbende teknisk udvikling gennem projektperioden. Systemerne afprøves løbende i et forsøgssædskifte, hvor det samtidigt er muligt at teste relevante jordfysiske og biologiske parametre samt at følge evt. uheldige bivirkninger. Formålet med denne fremgangsmåde er dels at opnå et realistisk forsøgssædskifte til test og dokumentation af de tekniske innovationer og dels at sikre et nært teknisk/biologisk samarbejde. Fremgangsmåden tjener endvidere som demonstrationsplatform for resultatskabelsen i projektet.

Det er primært den direkte såning, der bidrager til målsætningen om reduktion af maskinindsats og forbrug af fossil energi. For at opnå en totalbesparelse er det påkrævet, at den øgede indsats vedrørende selektive dyrkningsoperationer ikke overstiger denne besparelse. Dette vil ikke være realistisk, før de opnåede resultater via produktudvikling fører til udvikling af redskaber med betydelig større kapacitet end de nuværende. De redskabstyper, som anvendes i dyrkningssystemet, vil dog individuelt kunne implementeres i kendte dyrkningssystemer med henblik på besparelser i anvendelsen af herbicider. Dette vil være aktuelt, hvor der kan opnås en merpris ved specielle, miljøvenlige produktionssystemer, eller hvor alternativet vil være specifikke og meget dyre herbicider.

Kapitel 2

Rækkedyrkning

Bo Melander og Rikke Klith Jensen

Landbrugs- og havebrugsafgrøder etableres på rækker, og rækkestrukturen er og har været den helt dominerende geometriske måde, hvorpå planter placeres i marken. Rækkestrukturen fremkommer ved, at afgrøderne sås eller plantes ved hjælp af så- eller planteskær, som er placeret ved siden af hinanden med en veldefineret og fikseret afstand. Rækkeafstanden til den enkelte afgrøde samt afstanden mellem planterne i selve rækken er fastlagt på baggrund af både teknisk og biologisk viden. Dette princip er der ikke ændret på i årtier, selv om biologiske undersøgelser har vist, at både udbytte og afgrødens konkurrenceevne over for ukrudt kan forbedres ved at afgrøden etableres i en mere kvadratisk struktur – også kaldet grid-struktur – hvor der er omtrent samme afstand mellem rækkerne som mellem planterne i rækken (Finlay *et al.*, 1971; Håkansson, 1975; Mülle og Heege, 1981). I roer kan grid-strukturen desuden gøre det muligt at radrense i 2 dimensioner, hvorved både udbyttet og ukrudtsbekæmpelsen kan forbedres betydeligt (Kouwenhoven *et al.*, 1991). På trods af de biologiske fordele ved grid-strukturen er der endnu ikke udviklet brugbar teknik til anvendelse i praksis, som kan udføre denne form for afgrødeetablering.

Termen "rækkeafgrøder" anvendes traditionelt for afgrøder, som etableres på større rækkeafstande, typisk 40-70 cm rækkeafstand. Det er afgrøder som majs, bederoer, de fleste frilandsgrønsager og havefrøafgrøder. Korn, raps og bælgsæd er ikke omfattet af termen rækkeafgrøder, men omtales mest som radsåede afgrøder. Rækkeafstanden er typisk 12 cm. Rækkedyrkning af bredsåede afgrøder skal i denne sammenhæng forstås som en udvidelse af den eksisterende 12 cm rækkeafstand til større rækkeafstande, eksempelvis 24 eller 36 cm i korn og 50 cm i raps. Større rækkeafstande vil betyde, at der kan anvendes jordgående redskaber i rækkemellemrummene til eksempelvis ukrudtsbekæmpelse og gødningsudbringning, og at der i øvrigt kan gennemføres foranstaltninger til pleje af afgrøden i lighed med det, der udføres i de traditionelle rækkeafgrøder – deraf betegnelsen rækkedyrkning.

Ukrudtsbekæmpelse under rækkedyrkning

En generel øgning af rækkeafstanden i bredsåede afgrøder vil gøre mekanisk ukrudtsbekæmpelse betydeligt nemmere, end det er tilfældet ved 12 cm rækkeafstand. Herved kan herbicidforbruget begrænses betydeligt eller endog helt elimineres.

Både ukrudtsharvning og radrensning kan ganske vist gennemføres ved 12 cm rækkeafstand i korn, men resultatet ved ukrudtsharvning kan forbedres ved dobbelt rækkeafstand, og styringen af en radrenser bliver betydeligt nemmere og mindre risikofyldt ved større rækkeafstand (Rasmussen og Pedersen, 1990; Dierauer og Stöppel-Zimmer, 1994; Rasmussen og Rasmussen, 1995; Rasmussen og Svenningsen, 1995; Johansson, 1998). I hestebønner og raps har rækkeafstande på 30-50 cm vist sig at være ganske anvendelige for gennemførelsen af mekanisk ukrudtsbekæmpelse i form af ukrudtsharvning og radrensning (Irla, 1994, 1995; Kristensen, 1997).

Foruden den ukrudtsbekæmpende funktion, vil rækkekultiveringen også løsne det øverste jordlag. Denne løsning har i en række undersøgelser vist sig at føre til et mindre merudbytte, eksempelvis: 15% i såløg (Melander og Hartvig, 1997); 5% i vinterhvede (Becker og Böhrnsen, 1994; Rasmussen, 1998); 14% i hestebønner (Irla, 1995); 4% i sukkerroer (Anonym,

1996). Jordløsningens vækstfremmende virkning kan skyldes en række faktorer, hvoraf de vigtigste formodentlig er en forbedret vandhusholdning samt en øget kvælstofmineralisering.

Andre aspekter vedrørende mekanisk ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrum og i rækken vil blive nærmere omtalt under kapitel 6 "Mekanisk ukrudtsbekæmpelse ved rækkedyrkning samt teknik til ukrudtsbekæmpelse".

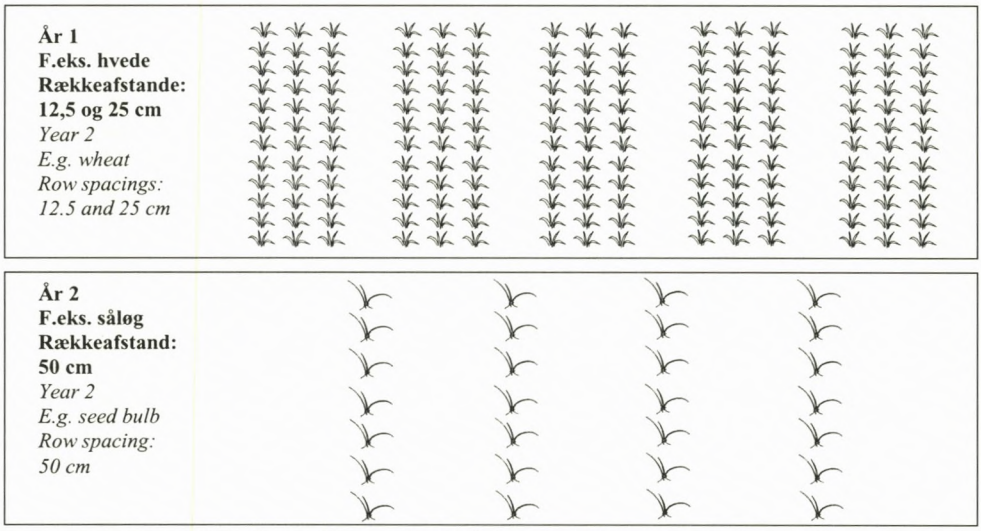
Båndsprøjtning er en anden teknik, som en forøgelse af rækkeafstandene giver mulighed for at anvende. Teknikken kendes fra de traditionelle rækkeafgrøder og anvendes udelukkende med henblik på at bekæmpe ukrudt i rækken. Ukrudt mellem rækkerne bekæmpes mekanisk. I majs, hestebønner og roer har det i nyere forsøg været muligt at reducere herbicidforbruget med 60-70% ved at anvende båndsprøjtning og radrensning, sammenlignet med anvendelse af bredsprøjtning (Irla, 1989, 1995; Pleasant *et al.*, 1994; Anonym, 1995). I de refererede undersøgelser har der været anvendt båndbredder på 16-25 cm, men i nyere svenske undersøgelser i roer har det været muligt at båndsprøjte med 12 cm brede bånd uden forringelser i ukrudtseffekten – en båndbredde på 6 cm har derimod ikke kunnet lade sig gøre (Anonym, 1995). Båndsprøjtning i korn og andre radsåede afgrøder, dyrket på 24 cm rækkeafstand, kan derfor kun blive interessant, såfremt båndsprøjtningsteknikken udvikles yderligere til at kunne operere med båndbredder mindre end 12 cm.

Udtømning af jordens pulje af ukrudtsfrø

Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrum vil bevirke en kultivering af jorden, der foruden at bekæmpe spirede ukrudtsfrø også vil stimulere nye ukrudtsfrø til at spire, hvorefter de kan bekæmpes ved næste kultivering, osv. Desto flere gange kultiveringerne gennemføres, de sto større udtømning af frøpuljen kan der opnås (Chancellor, 1964; Roberts, 1967; Dyer, 1995). En betydelig udtømning kan dog kun opnås, hvis frøukrudtet samtidigt forhindres i at kaste frø og dermed forhindres i at tilføre jorden nye frø. I praksis vil det betyde, at ukrudtsbekæmpelsen skal være meget effektiv. Betydningen af at hindre frøukrudtet i at kaste frø med henblik på at opnå en hurtig reduktion i jordens frøpulje og dermed en nedgang i markens ukrudtsbestand er veldokumenteret fra en række undersøgelser med frøukrudtets udbredelse under pløjefri dyrkningssystemer (Melander, 1994). De samme undersøgelser viser også, at nedgangen i ukrudtsbestanden vil foregå betydeligt hurtigere under pløjefri dyrkning end under pløjning, fordi udtømningen i det pløjefri system kun behøver at foregå i de øverste 0-5 cm jordlag, hvorfra fremspiringen af ukrudtskimplanter helt overvejende foregår. Under pløjning, hvor jorden vendes hvert eneste år, kan udtømningen ikke begrænses til et 0-5 cm jordvolumen, men vil derimod finde sted i hele pløjelagets dybde (0-20 cm), hvorfor udtømningen vil tage betydeligt længere tid.

Mulighederne for at udtømme det øverste jordlags ukrudtsfrøpulje gennem rækkekultivering og samtidig undlade at pløje er et element, som kan udnyttes under rækkedyrkning. Teknikken vil bl.a. kræve, at næste års afgrøde kan etableres i rækkemellemrummene fra den foregående afgrøde, og at dyrkningen i det hele taget kan gennemføres under pløjefri dyrkningsforhold. Under Danmarks JordbrugsForskning er der tidligere arbejdet med et 2-årigt dyrkningssystem, som bygger på de her beskrevne biologiske principper. Systemet er specielt designet til anvendelse i rækkeafgrøder, hvor forfrugten i det første år inddrages aktivt i ukrudtsreguleringen ved, at der i en kornafgrøde etableres 25 cm brede, afgrødefri bånd, som illustreret i figur 2.1. I disse bånd foretages flere kultiveringer af jorden med henblik på at opnå den tidligere beskrevne udtømningseffekt. Efter forfrugten pløjes arealet ikke, og det efterfølgende forår (år 2), sås rækkeafgrøden i båndene. De første erfaringer med systemet har vist, at der, sammenlignet med traditionel etablering af rækkeafgrøder, kan opnås en reduktion i an-

tallet af ukrudtsplanter i år 2 på godt 70% (Rasmussen og Ascard, 1995; Melander, 1996; Melander og Hartvig, 1996). Ukrudtsreduktioner i denne størrelsesorden har kun været opnået med vårbyg som forfrugt, og kun hvis frøkast fra ukrudtet i det første år enten har været forhindret helt eller hæmmet ganske kraftigt. Med andre ord, systemet forudsætter en effektiv ukrudtsbekæmpelse i det første år.



Figur 2.1. Skematisk fremstilling af et 2-årigt dyrkningssystem. *Schematic outline of a two-year cropping system. (Illustration: Henny Rasmussen)*

Anvendes der alene mekanisk bekæmpelse i år 1, vil en meget effektiv ukrudtsbekæmpelse kun være muligt, såfremt ukrudtstrykket er lavt til moderat og uden for mange vanskeligt bekæmpelige arter som f.eks ager-sennep (*Sinapis arvensis*), hanekro (*Galeopsis spp.*) og spildraps (*Brassica napus*) (Rasmussen og Rasmussen, 1994; Melander, 1996). Er forfrugten vinterhvede og/eller ukrudtstrykket højt, vil der være behov for, at den mekaniske bekæmpelse suppleres med kemisk bekæmpelse. I vinterhvede har især enårigt rapgræs (*Poa annua*) vist sig at være et stort problem, fordi arten har mange generationer, og hver generation sætter og kaster frø hurtigt. Desuden vil det 2-årige system kun have effekt på frøukrudtsarter, som forekommer i jordens frøpulje. Arter med meget mobile frø, f.eks. mælkebøtte (*Taraxacum vulgare*), svinemælk (*Sonchus arvensis*), alm. brandbæger (*Senecio vulgaris*) og tidsler (*Cirsium spp.*), som kan flyve ind udefra og etablere sig i de afgrødefri bånd, vil i nogen grad kunne modvirke effekten af kultiveringerne i år 1 (Melander, 1996).

Placering af gødning

Rækkedyrkning vil grundlæggende kunne forbedre mulighederne for at udbringe og placere gødning i en voksende afgrøde, fordi det bl.a. vil være muligt at anvende nedfælderskær i rækkemellemrummene. Fordelene ved denne form for gødningsplacering kan være en bedre gødningsudnyttelse, således at samme udbytte kan opnås med en mindre gødningsmængde ved placering end ved udbringning på jordoverfladen. Nye resultater har vist, at placering af gødning i forbindelse med såning af vårbyg i kombination med ukrudtsharvning, kan forbedre såvel ukrudtsbekæmpelsen som udbyttet, sammenlignet med bredspredt gødning (Rasmussen og Petersen, 1997; Rasmussen *et al.*, 1996). Gødningsplaceringen forbedrer den mekaniske ukrudtsbekæmpelse, fordi afgrødens vækst og konkurrenceevne over for ukrudtet fremmes,

hvilket fører til en betydelig størrelsesforskel mellem afgrøde og ukrudt. Denne forskel styrker afgrøden i forhold til ukrudtet, hvilket forbedrer mulighederne for at opnå høje bekæmpelseseffekter uden væsentlige afgrødeskader. Øvrige aspekter vedrørende gødningsplacering vil blive nærmere uddybet i kapitel 5 "Gødningsplacering i et rækkedyrkningskoncept".

Udbytte og konkurrenceevne ved øget rækkeafstand

Udbytte

Tidligere europæiske undersøgelser med forskellige rækkeafstande til korn har vist, at udbyttet generelt falder ved stigende rækkeafstand. Andersson (1983) og Mülle og Heege (1981) angiver et udbyttetab på 0,7% som gennemsnit for korn for hver cm, rækkeafstanden øges fra ca. 10 cm til ca. 20 cm. I tabel 2.1 er der angivet flere eksempler på udbyttetab i korn, og som det fremgår, er der kun små forskelle kornarterne imellem, selv om tabene spænder over forskellige jordtyper, år, kvælstofnormer, klimaer, sorter m.m. Flere af undersøgelserne bl.a. (Bengtsson, 1972; Rasmussen og Pedersen, 1990; Tompkins *et al.*, 1991) påpeger, at de største negative reaktioner på en øgning af rækkeafstanden sker ved et højt udbytteniveau. I de fleste undersøgelser vekselvirker udsædsmængden kun i ringe grad med rækkeafstanden. Som regel fører stigende udsædsmængde til stigende udbytte, uanset rækkeafstanden. Rækkeafstanden synes heller ikke i væsentlig grad at vekselvirke med sorter, men derimod meget med år. Rækkeafstande på 30 cm og derover til korn har i flere undersøgelser ført til betydelige udbyttetab og anses derfor at være uden særlig dyrkningsmæssig interesse (Finlay *et al.*, 1971; Mülle og Heege, 1981; Petersen *et al.*, 1988; Beuerlein og LaFever, 1989; Rasmussen og Pedersen, 1990).

Tabel 2.1. Eksempler på udbyttetab i korn ved øgning af rækkeafstanden. *Examples of grain yield losses at increases in row distance*

Afgrøde *Crop*	**Udbyttetab** *Yield loss*	**Reference** *References*
Vinterhvede *Winter wheat*	**0,65% pr. cm for 10-20 cm** *0.65% per cm for 10-20 cm* **(0,72% pr. cm for vårhvede)** *(0.72% per cm for spring wheat)*	Mülle & Heege (1981)*
	0-6% fra 12-20 cm *0-6% from 12-20 cm*	Petersen *et al.* (1988)*; Rasmussen & Pedersen (1990)*
	4-8% fra 10-20 cm *4-8% from 10-20 cm*	Johnson *et al.* (1988)**; Marshall & Ohm (1987)**; Koscelny *et al.*(1990)**; Koscelny *et al.* (1991)**
	0% fra 10-20 cm *4-8% from 10-20 cm*	Furrer & Stauffer (1978)*; Teich *et al.* (1993)**
Vårbyg *Spring barley*	**0,62% pr. cm for 10-20 cm** **(også vinterbyg)** *0.62% per cm for 10-20 cm* *(also winter barley)*	Mülle & Heege (1981)*
	0-5% fra 12-20 cm *0-5% from 12-20 cm*	Rasmussen & Pedersen (1990)*
	2-3% fra 12-18 cm *2-3% from 12-18 cm*	Bengtsson (1972)*; Andersson (1986)*
	6-8% fra 12,5-25 cm *6-8% from 12.5-25 cm*	Johansson (1998)*
Rug *Rye*	**0,72% pr. cm for 10-20 cm** *0.72% per cm for 10-20 cm*	Mülle & Heege (1981)*
Havre Oat	**0,68% pr. cm for 10-20 cm** *0.68% per cm for 10-20 cm*	Mülle & Heege (1981)*

***Nordeuropa; ****Nordamerika.* **Northern Europe*; ***North America*

Vinterraps og hestebønner er begge eksempler på afgrøder, som udviser en langt større plasticitet end korn, hvad angår udbyttets reaktion på ændringer i rækkeafstanden. Raps kan udmærket sås på 50 cm rækkeafstand, og hestebønner kan etableres på afstande fra 12-30 cm uden væsentlige forskelle i udbyttet, mens 40-50 cm rækkeafstand kan give 5-6% udbyttenedgang (Larsen og Nordestgård, 1972; Sjödin *et al.*, 1972; Bengtsson, 1974; Christensen, 1974; Heege *et al.*, 1993; Irla, 1994; Melander *et al.*, 1995; Kristensen, 1997; Mattsson og Sandström, 1994).

Konkurrenceevne over for ukrudt

Øges rækkeafstanden i korn, raps og bælgsæd fra den almindelige rækkeafstand på 12 cm, vil konkurrenceevnen over for ukrudt falde, primært fordi mere lys vil trænge ned i afgrøden, og ukrudtet, som følge deraf, får bedre vækstbetingelser. Dette er entydigt beskrevet i litteraturen og vist for både en- og tokimbladet ukrudt (Mülle og Heege, 1981; Andersson, 1986; Koscelny *et al.*, 1990; Koscelny *et al.*, 1991; Teich *et al.*, 1993). Rasmussen og Pedersen (1990) har imidlertid i forbindelse med radrensning i korn vist , at en øgning af plantebestanden i rækken kan give en forbedret konkurrenceevne over for ukrudt i rækken og dermed en bedre ukrudtsbekæmpelse, se også kapitel 3.

Diskussion
Rækkedyrkning af traditionelt radsåede afgrøder rummer nogle klare agronomiske fordele, såfremt den nødvendige maskinteknik kan udvikles til at udføre de nødvendige arbejdsoperationer. Eksempelvis vil der generelt være behov for en bedre såteknik, da afstanden mellem rækkerne skal være rimelig nøjagtig af hensyn til de efterfølgende behandlinger. Også plantebestanden i rækken skal kunne etableres efter veldefinerede kriterier for at opnå den ønskede konkurrencevirkning på ukrudt i rækken. Andre tekniske udfordringer kan nævnes, men de vil alle blive omtalt i de øvrige kapitler.

Det er stadig et åbent spørgsmål, om rækkedyrkning kan give den ønskede effekt på jordens ukrudtsfrøpulje. Ud fra en teoretisk betragtning – og det er også påvist eksperimentelt i arbejdet med det 2-årige dyrkningssystem – kan der forventes en relativt hurtig nedgang i puljen ved at etablere afgrøden i foregående afgrødes rækkemellemrum. Men en meget væsentlig forudsætning er, at ukrudtsfrøkast i videst mulig omfang kan undgås. Om mekanisk bekæmpelse alene kan klare denne opgave, er tvivlsomt, da effekten på ukrudt i rækken må forventes at være begrænset. Båndsprøjtning vil næppe blive tilgængelig i en teknisk og økonomisk attraktiv form for afgrøder, dyrket på mindre end 30 cm rækkeafstand. En god konkurrenceevne over for ukrudt i rækken kan selvfølgelig dæmpe problemet, men det vil næppe være nok. Bredsprøjtning med glyphosat i lav dosis, lige inden afgrøden spirer frem, kan fjerne en del af ukrudtet i rækken. Det ukrudt, som spirer frem senere, vil få meget svært ved at etablere sig, fordi afgrøden da vil have et betydeligt forspring i konkurrencemæssig henseende. En indsats med herbicider vil sandsynligvis kun være nødvendig, indtil frøpuljen og eventuelt rodukrudt er nedbragt. Herefter kan ukrudtsbekæmpelsen i rækkedyrkningssystemet formentlig alene klares med mekaniske metoder.

Rækkedyrkning kræver en øgning af rækkeafstanden fra de nuværende ca. 12 cm til mere end 20 cm, hvis det med den eksisterende teknik skal kunne lade sig gøre at gennemføre de forskellige plejeforanstaltninger. I raps og bælgsæd kan det gøres uden udbyttetab, mens det i korn vil betyde et – om end mindre, men dog mærkbart – udbyttetab. Almindeligvis har jordbruget svært ved at acceptere udbyttetab, også selv om de er beskedne. Derfor vil det på sigt være relevant at reducere dette tab, enten ved at tilpasse rækkedyrkningskonceptet til mindre rækkeafstande eller ved at øge udbyttet på den i forsøgene anvendte rækkeafstand. En sådan indsats vil dog være ganske ressourcekrævende, idet det involverer en detaljeret analyse af de tekniske muligheder ved forskellige rækkeafstande. Ligeledes skal de biologiske responser og de teknisk/biologiske interaktioner kortlægges og analyseres for at opnå et objektivt grundlag for optimering.

Et andet væsentligt aspekt ved øgede rækkeafstande er den nedsatte konkurrenceevne over for ukrudt. Den fordel, som øgede rækkeafstande kan give i bekæmpelsesmæssig henseende, kan nemt sættes over styr, hvis bekæmpelsen er mangelfuld og derved tillader ukrudtet at få plads til at producere en stor mængde frø.

Konklusion
En forøgelse af rækkeafstande i radsåede afgrøder (korn, raps og bælgsæd) kan forbedre effekten af den mekaniske ukrudtsbekæmpelse, fordi der kan anvendes radrenser. Gennemføres rækkedyrkningen uden pløjning og således, at afgrøden etableres i den foregående afgrødes rækkemellemrum, giver det mulighed for, at planteetableringen kan ske i sort jord, hvorved der kan opnås en nedgang i jordens pulje af ukrudtsfrø. Rækkedyrkning kan muliggøre udbringning og placering af gødning i en voksende afgrøde. En øgning til mere end 20 cm af

rækkeafstanden i korn vil medføre et udbyttetab på 0-6%. Konkurrenceevnen over for ukrudt nedsættes også ved større rækkeafstande i såvel korn som raps og bælgsæd.

Referencer

Andersson, B., 1983. Odlingstekniska försök med höstvete. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodling. Rapport, 121, 65 pp.

Andersson, B., 1986. Influence of crop density and spacing on weed competition and grain yield in wheat and barley. Proc. EWRS Symp., 1986. Economic Weed Control, 121-128.

Anonym, 1995. Minimala bandbredder. Forsöksverksamhet i Sockerbetor 1995, SockerNäringens SamarbetsKommitté, Arlöv, Sverige,1-31:3, 31 pp.

Anonym, 1996. Lågdosprogram och radrensning med och utan Safari 50 DF. Forsöksverksamhet i Sockerbetor 1996, SockerNäringens SamarbetsKommitté, Arlöv, Sverige.1-21:16, 21 pp.

Becker, K. & Böhrnsen A., 1994. Wirkungen mechanischer Pflegemassnahmen auf die Unkrautabundanz und die N-Mineralisation im Boden. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIV, 315-324.

Bengtsson, A., 1972. Radavstånd och utsädsmängd för vårvete och vårkorn. Lantbrukshögskolans meddelanden. Serie A, 161, 28 pp.

Bengtsson, A., 1974. Agronomic experiments with field beans. Effect of sowing date, row spacing and seed rate. Lantbrukshögskolans meddelanden. Serie A, 229, 27 pp.

Beuerlein, J.E. & LaFever, H.N., 1989. Yield of Soft Red Winter Wheat as Affected by Row Spacing and Seeding Rate. Applied Agricultural Research, 4(1), 47-50.

Chancellor, R.J., 1964. Emergence of weed seedlings in the field and the effects of different frequencies of cultivation. Proc. 7th British Weed Control Conf., 599-606.

Christensen, L.S.P., 1974. Såmængde og rækkeafstand for hestebønner samt radrensning i hestebønner. Tidsskrift for Planteavl, 78, 379-388.

Dierauer, H.U. & Stöppel-Zimmer, H., 1994. Unkrautregulierung ohne Chemie. E.U. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 134 pp.

Dyer, W., 1995. Exploiting Weed Seed Dormancy and Germination Requirements through Agronomic Practices. Weed Science, 43(3), 498-503.

Finlay, R.C., Reinbergs, E. & Daynard, T.B., 1971. Yield response of spring barley to row spacing and seeding rate. Canadian Journal of Plant Science, 51, 527-533.

Furrer, O.J. & Stauffer, W., 1978. Einfluss von Drillweite, Saatmenge, N-Düngung und CCC-Anwendung bei Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) und Korn (*Triticum Spelta* L.). Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung, 17, 29-36.

Heege, H.J., Schneider, W. & Vosshenrich, H.H., 1993. Drillsaat oder Einzelkornsaat von Ackerbohnen. Landtechnik, 48, 59-62.

Håkansson, S., 1975. Grundläggende växtodlingsfrågor. I. Inflytende av utsädesmängden och utsädes horisontella fördeling på utveckling och produktion i kortvariga växtbestånd. Lantbrukshögskolan, Institutionen för växtodling, Uppsala. Rapporter och avhandlingar 192, 33 pp.

Irla, E., 1989. Bandspritzung und Hacken in Zuckerrüben und Mais. Verahrensvergleich der Unkrautbekämpfung. Tänikon Schweiz, FAT-Berichte, , 1-11.

Irla, E., 1994. Vergleich Unkrautbekämpfungsverfahren im Raps. Tänikon Schweiz, FAT-Berichte, 453,1-6, 25.25.

Irla, E., 1995. Anbautechnik und Unkrautregulierung bei Ackerbohnen. Tänikon Schweiz, FAT-Berichte, 460, 1-6.

Johansson, D., 1998. Radhackning med och utan efterredskap i stråsäd. Rapporter från jordbearbetningsavdelingen, Sveriges Lantbruksuniversitet, 94, 55 pp.

Johnson, J.W., Hargrove W.L. & Moss R. B., 1988. Optimizing Row Spacing and Seeding Rate for Soft Red Winter Wheat. Agronomy Journal, 80, 164-166.

Kristensen H., 1997. Erfaringer med mekanisk ukrudtsbekæmpelse i raps. 14. Danske Planteværnskonference/Ukrudt,179-182.

Kouwenhoven, J.K., Wevers, J.D.A. & Post, B.J., 1991. Possibilities of mechanical post-emergence weed control in sugar beet. Soil & Tillage Research, 21, 85-95.

Koscelny, J.A., Peeper, T.F., Solie, J.B. & Solomon, S.G., 1990. Effect of wheat (*Triticum aestivum*) Row spacing, Seeding Rate, and Cultivar on Yield Loss from Cheat (*Bromus secalinus*). Weed Technology, 4, 487-492.

Koscelny, J.A., Peeper, T.F., Solie, J.B. & Solomon, S.G., 1991. Seeding Date, Seeding Rate, and Row Spacing Affect Wheat (*Triticum aestivum*) and Cheat (*Bromus secalinus*). Weed Technology, 5, 707-712.

Larsen, A. & Nordestgård, A., 1972. Rækkeafstandsforsøg i vinterraps 1966-1969. Tidsskrift for Planteavl, 75, 90-95.

Marshall, G.C. & Ohm, H.W., 1987. Yield Responses of 16 Winter Wheat Cultivars to Row Spacing and Seeding Rate. Agronomy Journal, 79, 1027-1030.

Mattsson, B. & Sandström, M., 1994. Icke-kemisk bekämpning i stråsäd och oljeväxter. Aktuelt från lantbruksuniversitetet. Mark - Växter, 423, 23 pp.

Melander, B., 1994. Impact of non-inversion tillage in temperate regions. Proc. EU-Concerted Action – No-Tillage – Workshop I, 49-58.

Melander, B., 1996. First experiences with a 2-year growing system using non-inversion tillage for in-row weed control in row crops. Proc. EU-Concerted Action - No-Tillage - Workshop III, 61-67.

Melander, B. & Hartvig, P., 1996. Nyt dyrkningssystem til ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse i grønsager. Grønne Fag, 9, 8-10.

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, J. & Rasmussen, K., 1995. Ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse – muligheder og begrænsninger i vinterraps og majs. 12. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 123-137.

Mülle, G. & Heege, H.J., 1981. Kornverteilung über die Fläche und Ertrag bei Getreide. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, 150(2), 97-112.

Petersen, J., Mortensen, G. & Hansen, G.K., 1988. Vækstsfaktorer i vintersæd I: Stor rækkeafstand kan forbedre planternes vandhusholdning. Agrologisk Tidsskrift/Marken, 6(9), 36-38.

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., 1998. Ukrudtsharvning i vinterhvede. 15. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 179-189.

Rasmussen, J. & Ascard, J., 1995. Weed Control in Organic Farming Systems. In: Ecology and Integrated Farming Systems. Edited by D.M. Glen, Greaves M.P. & Anderson H.M, Wiley Publishers, UK, 49-67.

Rasmussen, J. & Pedersen, T.B., 1990. Forsøg med radrensning i korn - rækkeafstand og udsædsmængde. 7. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 187-199.

Rasmussen, J. & Rasmussen, K., 1995. A strategy for mechanical weed control in spring barley. 9th EWRS Symp. "Challenges for Weed Science in a Changing Europe", Budapest, 557-564.

Rasmussen, J. & Svenningsen, T., 1995. Selective Weed Harrowing in Cereals. Biological Agriculture and Horticulture, 12, 29-46.

Rasmussen, K. & Petersen, J., 1997. Gødningsplacerings indflydelse på mekanisk ukrudtsbekæmpelse i vårbyg. 14. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 193-202.

Rasmussen, K., Rasmussen, J. & Petersen, J., 1996. Effects of Ferilizer Placement on Weeds in Weed Harrowed Spring Barley. Acta Agriculturæ Scandinavica. Section B. Soil and Plant Science, 46, 192-196.

Roberts, H.A. & Dawkins, P.A., 1967. Effect of cultivation on the numbers of viable weed seeds in soil. Weed Research, 7, 290-301.

Sjödin, J., Löfqvist, B., Munck, L. & Holmberg, E., 1972. Odlingstekniska försök med åkerböna (*Vicia faba* L). Sveriges Utsädesförenings Tidsskrift, 82, 37-47.

Teich, A.H., Smid, A., Welacky, T. & Hamill, A., 1993. Row-spacing and seed-rate effects on winter wheat in Ontario. Canadian Journal of Plant Science, 73, 31-35.

Tompkins, D.K., Hultgreen, G.E., Wright, A.T. & Fowler, D.B., 1991. Seed Rate and Row Spacing of No-Till Winter Wheat. Agronomy Journal, 83, 684-689.

Kapitel 3

Tekniske og agronomiske aspekter ved pløjefri dyrkning

Karl Johan Rasmussen

I rækkedyrkningssystemet gennemføres pløjning kun undtagelsesvis. Direkte såning uden nogen form for jordbearbejdning udføres imellem stubrækkerne af den foregående afgrøde med en dertil egnet såmaskine. Ideen er dog, at såskæret/-organet i sig selv udfører en lokal jordbearbejdning, så der skabes de bedst mulige forudsætninger for at opnå en sikker planteetablering. I nogle tilfælde, f.eks. hvis der ligger megen halm eller stubrester, eller hvis jordoverfladen er hård og skorpet, kan det blive nødvendigt at foretage en overfladisk jordbearbejdning i en smal stribe foran såskæret for at få udsæden dækket med jord. Der kan også være tilfælde, hvor jorden er tilstrækkelig porøs til direkte såning, men hvor et tykt lag halm forhindrer såningen. I sådanne tilfælde kan det være nødvendigt at skubbe halmen til side foran såskæret eller at anvende et lodret skiveskær til gennemskæring af halmen foran såskæret.

Ved såning er det vigtigt, at frøene placeres uden nærkontakt med halm og stubrester, hvis omsætningsprodukter kan virke spirehæmmende, ligesom kontakten med den omgivende, fugtige jord kan blive for ringe med dårlig vandoptagelse og manglende fremspiring til følge. Kernerne skal placeres tættest muligt ved den underliggende, ubearbejdede og fugtige jord samt dækkes med løs, let komprimeret jord for at sikre vandoptagelse, ilttilgang og fremspiring.

Ukrudtsbekæmpelsen skal fortrinsvis ske mekanisk, men det kan ikke udelukkes, at det ind imellem kan blive nødvendigt at kombinere den mekaniske ukrudtsbekæmpelse med båndsprøjtning i afgrøderækken. Dette vil være tilfældet, hvor afgrødens konkurrenceevne over for ukrudt er for ringe. Efter såning imellem den foregående afgrødes stubrækker vil der ofte ligge halm- og stubrester, som kan vanskeliggøre mekanisk renholdelse. Dette emne behandles i kapitel 6.

For at opnå optimal udnyttelse af de tilførte næringsstoffer, skal den tilførte gødning placeres i en vis dybde og afstand fra de etablerede planterækker. Ved placering af gødningen, uanset om den er fast eller flydende, er det væsentligt, at der anvendes skærtyper, der kan placere gødningen i den rette dybde og afstand fra planterækkerne, uden at der rodes for meget jord op, og uden at der sker væsentlig skade på planterødderne. Selve placeringsgeometrien behandles i kapitel 5, mens dette afsnit giver en kort beskrivelse af den anvendte teknik samt nogle væsentlige forhold vedrørende placering af gødning til etablerede afgrøder i upløjet jord.

Udbredelsen af pløjefri dyrkning

De første europæiske forsøg med reduceret jordbearbejdning blev anlagt i England i 1926. Resultaterne, der blev publiceret af Keen og Russel (1937), konkluderede overraskende, at det var unødvendigt at bearbejde jorden så intensivt, som det hidtil havde været praktiseret, når blot den var fri for ukrudt. Denne oplysning var imidlertid ikke af særlig stor praktisk værdi, fordi det netop var nødvendigt at pløje jorden for at bekæmpe ukrudtet. Derfor var ploven det mest anvendte redskab forud for såning overalt i verden indtil begyndelsen af 1960'erne.

Med introduktionen af bl.a. herbiciderne Gramoxone og Reglone fra det engelske kemikaliefirma ICI omkring 1960 åbnedes der mulighed for at erstatte pløjning med forskellige former for reduceret jordbearbejdning, f.eks. overfladisk harvning eller fræsning, eller såning direkte i den ubearbejdede stub. Direkte såning foregik hovedsagelig med såmaskiner med skiveskær. En væsentlig forudsætning for en vellykket såning med disse maskiner var – foruden en effektiv

ukrudtsbekæmpelse – at halm og stubrester blev afbrændt. Trods brug af de nævnte kemikalier opstod der i løbet af en kort årrække alvorlige problemer med rodukrudt – hovedsagelig kvik – fordi det kun var de overjordiske plantedele, der blev nedvisnet ved brug af de nævnte herbicider. Med introduktionen af midlet Roundup (Glyphosat) kom der for alvor gang i den pløjefri dyrkning i mange lande i 1970'erne og 1980'erne.

Den pløjefri dyrkning var i denne periode genstand for omfattende forskning i mange lande. Forskningen viste, at pløjefri dyrkning kunne gennemføres med godt resultat, men at metoden stillede betydelige krav til landmandens dygtighed. Pløjning var stadig den sikreste metode.

Trods de lovende forskningsresultater fik den pløjefri dyrkning en beskeden udbredelse i mange lande. I enkelte lande, f.eks. England, med meget svære jordtyper, som ofte er vanskelige at pløje og tilberede et såbed i, fik den pløjefri dyrkning – specielt direkte såning – en betydelig udbredelse.

Efter indførelse af forbud mod halmafbrænding på markerne i de fleste europæiske lande omkring 1990 forsvandt grundlaget for pløjefri dyrkning, og landmændene gik igen over til pløjning. Samtidig ophørte den væsentligste forskning inden for dette område.

Direkte såteknik giver mange fordele i forbindelse med afgrødeproduktion og beskyttelse af miljøet. Fordelene omfatter bl.a. reduceret indsats af arbejde og energi, forbedrede jordfysiske forhold, aggregatstabilitet og vandforhold i jorden samt reduceret risiko for nitrat- og pesticidudvaskning. I mange situationer kan disse fordele opnås uden væsentlige udbyttetab. En vigtig forudsætning herfor er en god planteetablering, som i høj grad er afhængig af den anvendte såteknik (Tebrügge *et al.*, 1994).

Selvom forskningsresultater viser, at der er mange fordele forbundet med overgang til direkte såning, og pløjning ikke længere er en forudsætning for plantedyrkning, så har landmændene i de fleste europæiske lande i de senere år været tilbageholdende med igen at udskifte pløjning med reduceret jordbearbejdning og direkte såteknik. Årsagen er bl.a. store halmmængder, ukrudts- og sygdomsproblemer, forringet jordstruktur pga. jordkomprimering i en zone på 10-15 cm under sådybden, mangel på egnet såudstyr, og ikke mindst manglende kendskab til praktisk anvendelse af direkte såteknik under forskellige dyrkningsforhold samt offentlighedens uvilje mod brug af kemiske bekæmpelsesmidler.

I modsætning til i de europæiske lande er direkte såning i forbindelse med store mængder afgrøderester (conservation tillage) øget markant i det sydlige USA (Tyler *et al.*, 1994). Mere end 60% af arealet med soyabønne blev i 1991 dyrket i dobbelt-afgrøde-systemer ved anvendelse af direkte såteknik. Fordelene ved at efterlade planterester på overfladen (residue management) er bl.a. den erosionsbegrænsende faktor. I tilfælde, hvor der er behov for jordløsning, kan denne udføres samtidig med såning. Blandt fordelene ved direkte såning kan nævnes, at indholdet af organisk materiale i de øvre jordlag øges, vandinfiltration forbedres, og der sker en generel forbedring af overfladejordens krummestruktur på grund af ophobning af organisk materiale i de øvre jordlag.

The US Conservation Technology Information Center, der bl.a. indsamler oplysninger om udbredelsen af conservation tillage i USA, har vist, at direkte såning, der er den mest udbredte form for conservation tillage, er øget fra 14 mio. ha i 1989 til 35 mio. ha i 1994. Den største procentvise forøgelse er sket i de midtvestlige stater. Det, der tiltaler farmerne, er besparelserne i energi- og maskinomkostninger, men i endnu højere grad tidsbesparelsen. Ny teknologi til

direkte såning udvikles hurtigere end teknik til nogen anden form for jordbearbejdning (Allmaras *et al.*, 1994; McCain, 1994).

Også i Canada er interessen for direkte såning steget markant det seneste årti. I 1991 blev 33% af alle enårige afgrøder på den canadiske prærie sået i upløjede systemer (Larney *et al.*, 1994).

- Forskningsresultater såvel som praktiske erfaringer fra forskellige former for pløjefri dyrkning i Europa og Nordamerika er så lovende, at metoderne bør kunne gennemføres i rækkedyrkningssystemet, såfremt der udvikles egnede teknikker. I Europa er der imidlertid ikke foregået en nævneværdig udvikling af ny teknik og systemer til pløjefri dyrkning de sidste to årtier, mens udviklingen i Nordamerika går hurtigt.

Forudsætninger for afgrødeetablering
Sammenlignet med planteetablering efter pløjning, er der en række forhold, der skal tages i betragtning i forbindelse med pløjefri dyrkning. Disse forhold er i det væsentlige knyttet til planteresterne fra den foregående afgrøde, til de jordfysiske forhold samt til ukrudtsbestanden på såtidspunktet.

Ved såning er det vigtigt, at der opnås en så god kontakt mellem frø og den jord, hvorpå frøet placeres, at der ikke dannes et glittet og kompakt jordlag i sårillen, samt at der ikke er trykket planterester ned i sårillen, hvis omsætningsprodukter kan hæmme fremspiring og rodudvikling. Endvidere er det vigtigt, at sårillen lukkes godt for at undgå udtørring.

Komprimering af jorden i sårillen kan medføre dårlig afdræning med deraf følgende udvikling af lokale anaerobiske forhold, som kan hæmme fremspiring og rodudvikling. En åben sårille fremmer hurtig udtørring af jorden omkring udsæden. Ligeledes fremmes f.eks. angreb af fugle og under våde forhold også angreb af negle. De skadelige konsekvenser af dårlig afdræning og fugtige forhold forøges, hvis afgrøderester også er til stede i sårillen. Store mængder afgrøderester på jordoverfladen kan også hæmme afgrødens fremspiring og tidlige vækst samt fremme angreb af skadedyr, såsom snegle, mus og fugle (Linke og Köller, 1994; Spoor *et al.*, 1998).

De primære forudsætninger for en succesfuld afgrødeetablering ved direkte såning i rækkedyrkninsprojektet kan summeres som følger:
- God kontakt mellem udsæd og den fugtige jord i en veletableret sårille
- Undgå lokal pakning og glitning af jorden i såzonen for sikring af god afdræning og hurtig rodudvikling
- Undgå, at planterester kommer i kontakt med udsæden
- Undgå store mængder planterester på overfladen over sårækken
- God lukning af sårillen.

Maskintyper til direkte såning og deres egnethed under forskellige markforhold
De direkte såmaskiner, der er til rådighed på markedet, har en række karakteristika, som er tilpasset forskellige typer af marksituationer. Her omtales de forhold, der knytter sig til jord og efterladte halmrester på jordoverfladen, nemlig skærtyper, lukning af sårillen, dybdekontrol samt anvisninger på håndtering af større halmmængder.

Såskær/fureåbnere kan opdeles i 3 kategorier:
1) Tandskær
2) Vingeskær
3) Skiveskær: Enkelt, dobbelt eller tredobbelt

De forskellige såmaskiners egnethed til succesfuldt arbejde under forskellige markforhold er hovedsagelig afhængig af 5 faktorer:

1) Jordens fugtighed og tæthed på såtidspunktet
2) Mængden og beskaffenheden af de efterladte planterester
3) De øvre jordlags tæthed
4) Jordoverfladens ruhed og antallet af sten
5) Ukrudtsbestanden

Tand- og vingeskær løfter jorden i såbedet, skubber den tørre overfladejord til siden og placerer udsæden i sort jord uden nærkontakt med planterester, mens skiveskærene i højere grad trykker halm og tør overfladejord ned i sårillen, hvorved fremspiringen kan forringes (Wilkins *et al.*, 1983). Tand- og vingeskær er normalt mere jordsøgende end skiveskær – specielt når der ligger store halmmængder på jordoverfladen. Disse skærtyper arbejder tilfredsstillende under det bredeste område af jordbundsforhold. Kun ekstrem tør og hård jord sætter nogle begrænsninger.

Skiveskær skal pålægges store, nedadrettede belastninger for at kunne skære igennem et halmlag og skære en rille i jorden, specielt hvis jorden er tør. Den nødvendige nedadrettede vægt til sikring af en tilstrækkelig gennemskæring af afgrøderester med skiveskær ligger på 100-350 kg pr. skive, afhængig af halmmængde, jordtype, fabrikat og model. Andre forhold af betydning kan være skivernes udformning, som har indflydelse på skivernes jordsøgende og bearbejdende evne. Et antal såmaskiner er udstyret med et enkelt skiveskær – hovedsagelig takket eller bølget – med det formål at gennemskære planterester, skære en rille i jorden samt bearbejde jorden foran selve såaggregatet for at sikre en god placering af udsæden.

Udstyr til lukning af sårillerne er hovedsagelig trykhjul af forskellig udformning, som kan arbejde i tre retninger: Vertikalt, skråt vertikalt eller skråt i færdselsretningen. Vertikalt arbejdende trykhjul er de mest anvendte. Disse er udført i enten stål eller gummi og er til tider udstyret med flanger eller ribber for at øge randtrykket. Nogle trykhjul har påmonteret en tand til fjernelse af afgrøderester fra arealet omkring sårillen. Dybdekontrollen af sådybden sker hovedsagelig ved hjælp af trykhjul, der er monteret bag på hvert enkelt såaggregat. Nogle kombinationer af såskærtrykhjul er udstyret med parallelt forbundne arrangementer til sikring af en ensartet sådybde og for at skabe en jævn overflade (Spoor *et al.*, 1998).

Såskærets udformning og dets evne til at dække udsæden er nøglefaktorer ved direkte såning. Planteetableringen er mere knyttet til såskærets udformning og dets indflydelse på de jordfysiske parametre end til alle andre enkelte faktorer (Choudhary og Baker, 1994). Under tørre forhold har tandskær vist sig at give den bedste fremspiring og de højeste udbytter, mens skiveskær gav de bedste resultater i år med mere favorable fugtighedsforhold, idet skiveskærene gav en mindre forstyrrelse af jorden og dermed en mindre fremspiring af ukrudt og spildkorn (Larney *et al.*, 1994; Linke og Köller, 1994).

Blandt mange forskellige såmaskintyper til direkte såning fremhæver såvel Choudhary og Baker (1994) som Sojka og Carter (1994) den new zealandske Cross Slot™, der er udstyret med et ledende skiveskær foran et vingesåskær. Denne maskine har vist sig at være velegnet til såning under et bredt spektrum af jordbundsforhold samt på marker med store efterladte halmmængder i form af snittet halm, høj stub eller ribbehøstet halm.

Jordfugtigheden og -tætheden på såtidspunktet har stor indflydelse på såarbejdets kvalitet og kernernes placering. Lerjord, i kombination med koldt og fugtigt klima, betragtes i Canada som dårligt egnet til direkte såning, mens systemet kan anvendes på lettere jorde under de samme

klimaforhold uden sikre udbyttetab (Arshad og Gill, 1998). Risikoen for dannelse af ugunstige spire- og vækstforhold i og omkring sårillen er størst, når der arbejdes med skiveskær i plastisk jord, hvilket vil forekomme på de sværeste lerjorde (lerindhold > 35%). Under sådanne forhold er der stor risiko for at danne en glittet sårille, som det kan være vanskeligt at lukke omkring udsæden (Linke og Köller, 1994; Spoor *et al.* 1998).

Risikoen for glitning i sårillen er *lavest*, når der foran såskæret er monteret en tand eller et skiveskær, *moderat*, når skiveskæret er skråtstillet i forhold til såretningen, og *størst* med et lige skiveskær. Trykhjul, der er vertikalt skråtstillet eller lettere skråtstillet i færdselsretningen, synes at være mest effektive til lukning af sårillen under ugunstige forhold (Earls og Spoor, 1994). Morken (1994) fremhæver, at det er vigtigere at så på det rette tidspunkt end at skabe det optimale såbed pga. den korte vækstsæson i Norden.

Der findes forskellige såprincipper, der – afhængig af forholdene – kan anvendes i rækkedyrkningsprojektet:

- I de tilfælde, hvor der ligger halm på jordoverfladen, har tand- eller vingeskær vist sig at være mest velegnede, idet de har den bedste jordsøgende evne til at placere udsæden i omgivelser, hvor halmens omsætningsprodukter ikke vil hæmme fremspiringen
- Hvor der ikke er væsentlige halmmængder, og hvor jordoverfladen ikke er tør og hårdt komprimeret, har skiveskær vist sig at være bedst egnede
- Det vil ofte være en fordel at placere en smal tand eller et skiveskær til at skære en rille i jorden foran såvel tand- og vingeskær som skiveskær.

Direkte såning og afgrøderester

Direkte såmaskiners egnethed til at arbejde sikkert under forhold, hvor halm er efterladt på jordoverfladen, er direkte relateret til deres evne til at:

- Undgå blokering
- Undgå eller minimere mulighederne for at trykke halm ned i sårillen
- Undgå dannelse af halmdynger på overfladen over sårækkerne.

I forhold til skiveskærtyperne har tandskærtyper større tendens til at slæbe med strå, danne halmdynger og blokere skærene (Böhrnsen, 1995). Problemerne kan imidlertid reduceres eller undgås ved ensartet spredning af såvel den snittede halm som avnerne samt ved at have store mellemrum mellem såaggregaterne. Tandskærtyper til direkte såning, udstyret med pneumatisk såudstyr, giver større muligheder for stor skærafstand end traditionelle såmaskiner. Nogle fabrikanter har monteret et udstyr til halmspredning bag såskærene for at minimere problemerne med dannelse af halmdynger over sårækkerne.

Skiveskærtyper er mindre tilbøjelige til blokering, end tandskærtyper er, men de har større tendens til at trykke halm ned i sårillen, hvilket kan give problemer med tilfredsstillende lukning af sårillen. Tandskærtyperne løfter planteresterne op og efterlader en halmfri sårille, hvor frøene placeres. De største problemer med nedtrykning af halm forekommer, når halmen er kraftig og fugtig, og jorden er blød. Derved yder jorden for lille modstand ved overskæring af stråene. I sådanne situationer kan ledende skiveskær foran såenheden heller ikke gennemskære halmen tilfredsstillende (Spoor, 1994).

Skiveskær giver en lille forstyrrelse af jorden, som er begrænset til sårillen og til sådybden. Tandskær roder mere jord op; men evnen til at frembringe en smuldret jord i sårillen aftager, desto hårdere jorden er. Nogle direkte såmaskiner med enkelt skiveskær – hovedsagelig de maskiner med lav belastning på skærene – er kun egnede til såning i løs jord. En række harve-

tænder foran skiveskærene kan løsne og jævne jordoverfladen. Ved såning på en ujævn overflade har det vist sig, at såenheder med dybde/pakkehjul monteret tættest muligt på det enkelte såskær giver den bedste dybdekontrol. Såmaskiner med hydraulisk dybdekontrol eller med dybde-hjulkontrol over sektioner af såskær er dårligst egnede (Spoor *et al.*, 1998).

Jordpakning, og deraf følgende problemer med f.eks. reduceret rodvækst, er ofte rapporteret i forbindelse med direkte såning (Rasmussen, 1984; Rydberg, 1986, 1987; Schjønning, 1988; Ball *et al.*, 1998). En mulig løsning på dette problem, der samtidig fastholder flere positive aspekter af pløjefri dyrkning, er anvendelse af ikke-vendende jordløsning af de komprimerede jordlag, enten med en på såskæret monteret grubbertand, eller f.eks. med den såkaldte paraplov (Braim *et al.*, 1984; Hipps og Hodgson, 1988; Spoor, 1994). Der henvises til kapitel 4, som behandler denne problemstilling.

Direkte såmaskiner, udstyret med et løsneaggregat foran såskæret, har på en række forskellige jordtyper vist betydelig bedre resultater end såmaskiner uden løsneaggregat. I situationer med store mængder planterester, f.eks. ved direkte såning i en dækafgrøde, har det vist sig nødvendigt med en bearbejdning af jorden foran såskæret samtidig med, at plantematerialet skubbes ud ved siden af sårillen. Bearbejdning af jorden foran såskæret sikrer også en bedre dækning af sårillen (Sartori og Sandri, 1995).

Håndtering af snittet halm forud for direkte såning har stor indflydelse på, hvorledes den enkelte såmaskine og teknikken som helhed fungerer i forskellige arbejdssituationer. Uanset såmaskintype vil dens præstation blive forbedret, hvis halmen snittes til en længde på maksimalt 10 cm, der fordeles ensartet (Böhrnsen, 1996), eller hvor det er muligt, bør halm fjernes helt fra jordoverfladen inden direkte såning (Earl *et al.*, 1994).

Flerårige markforsøg i Tyskland og beregninger af omkostningerne viser, at en meget overfladisk bearbejdning (ikke dybere end sådybden) kan anbefales forud for direkte såning af vinterraps (Böhrnsen, 1997). Denne form for halmbehandling havde en positiv effekt på fremspiring, plantetæthed, afgrødeudbytte og fortjeneste i sammenligning med direkte såning i snittet halm.

Sammenlignede resultater fra franske markforsøg med tre typer af direkte såmaskiner viste ingen sikre forskelle i fremspiring, uanset om halmen var afbrændt, eller om der var foretaget stubbearbejdning eller ej. Dog var der tendens til en lidt bedre fremspiring, hvor halmen var afbrændt, og en lidt ringere fremspiring efter såning med enkelt skiveskær på ubehandlet jord. En overordnet betragtning af den kombinerede effekt af såmaskintyper og halmbehandling på afgrøderesponsen viste, at nogle afgrøder er mere følsomme over for ugunstige vækstforhold end andre. Raps er mere følsom end hvede (Böhrnsen, 1996), og solsikke er mere følsom end majs (Sartori og Sandri, 1995). I bestræbelserne på at minimere problemerne med halm ved direkte såning anbefaler Böhrnsen (1995, 1997) bl.a. at snitte en lang stub samtidig med såning og blæse det snittede materiale ud over den såede overflade, eller at snitte og sprede halmen umiddelbart efter såning.

Vyn (1987) fandt, at udbyttet steg med 9-10%, når afgrøderesterne i et bånd på 15 cm bredde var fjernet omkring sårækken forud for direkte såning med en skiveskærsåmaskine ved såning af majs efter majs eller efter byg. Det bedste resultat opnås, når planteresterne kan fjernes uden samtidig fjernelse af overfladejord fra såzonen (Stewart og Vyn, 1992). Den toksiske effekt af planterester vil næsten være elimineret, når frøene placeres i en afstand af mindst

10 mm fra planteresterne (Chaudhary og Baker, 1988). Janovicek *et al.* (1999) fandt, at fjernelse af afgrøderester fra sårækken gav højere jordtemperatur.

Ved udvælgelse af såskær til rækkedyrkningssystemet, bør følgende forhold tages i betragtning:

- Tandskærtyper har større tilbøjelighed til at slæbe med strå, danne halmdynger og blokere skærene end skiveskær, som til gengæld har større tilbøjelighed til at trykke halm ned i sårillerne. Tilbøjeligheden til slæbning kan reduceres ved at øge afstanden mellem skærene.
- Skiveskær giver en mindre forstyrrelse af jorden end tandskær
- Såenheder med dybde/pakkehjul, monteret tættest muligt på de enkelte såskær, giver den bedste dybdekontrol
- Er jorden komprimeret, kan den løsnes med en ikke-vendende grubber, f.eks. med en paraplov eller med et løsneaggregat, monteret foran såskæret
- En overfladisk bearbejdning inden såning giver ofte en bedre dækning af udsæden samt en bedre fremspiring og udvikling af planterne end direkte såning
- Fjernelse af afgrøderester fra jordoverfladen i et bånd omkring sårækken ved direkte såning giver højere temperatur og udbytte, sammenlignet med ikke-fjernelse, og bør derfor afprøves i rækkedyrkningsprojektet.

Sådybden

Den engelske landmand J.R. Holbrook (1995) har siden 1968 arbejdet med direkte såsystemer, og gjort den iagttagelse, at der sjældent forekommer lejesæd i korn, der er direkte sået, mens der ofte er kraftig lejesæd på de marker, der er sået efter pløjning og konventionel såbedstilberedning. Holbrook har ligeledes gjort den iagttagelse, at når han sår i 3-4 cm dybde, vil koleoptilen spire frem til 2-3 cm over jordoverfladen og sætte det første blad. På den position, hvor det første blad forlader koleoptilen, vil det første knæ dannes. Hvis frøet er placeret i 4-5 cm dybde, vil koleoptilen vokse til ca. 2 cm under jordoverfladen, og her vil det første blad og det første knæ dannes, mens det 2. knæ dannes ca. 6 cm over jordoverfladen. Når koleoptilen kommer frem over jordoverfladen (dvs. ved 3-4 cm sådybde), dannes der sjældent lejesæd, og kornet angribes kun svagt af knækkefodsyge. Når koleoptilen dannes under jordoverfladen (dvs. ved 4-5 cm sådybde), angribes kornet ofte af knækkefodsyge, og stråene knækker. Der findes ingen videnskabelig dokumentation på Holbrooks iagttagelser, der dog er så interessante, at de bør efterprøves. I danske forsøg er der i enkelte tilfælde fundet tendens til mindre lejesæd efter direkte såning end efter pløjning (Rasmussen, 1988).

Sådybden til konventionelt sået vinterhvede, vinterbyg og vårbyg skal under danske forhold være 2-4 cm. Sådybder på 5-6 cm kan give dårlig fremspiring og dermed lavere udbytte (Jepsen, 1985). Konventionelt sået vårsæd bør placeres lidt dybere end vårsæd sået optimalt under tørre forhold på lette jorde, mens sådybden bør reduceres under fugtige forhold – specielt på sværere jorde og på jorde med risiko for skorpedannelse (Kritz, 1983).

Direkte sået jord er oftest tættere i de øvre jordlag (0-10 cm) end pløjet jord. Der er et mindre grovporevolumen og en bedre porekontinuitet nedad, hvilket giver en bedre kapillærvirkning og et højere vandindhold. Derfor skal udsæden ikke placeres så dybt i direkte sået jord som i pløjet jord for at kunne optage tilstrækkelige vandmængder til sikring af en god fremspiring (Elonen, 1988; Rydberg, 1986; Riley, 1988; Tesseir *et al.*, 1990).

Loeppky *et al.* (1989) fandt ved direkte såning af vinterhvede, at det er vigtigt med en sådybde på 1-2,5 cm på det optimale såtidspunkt for optimering af planteetablering om efteråret, minimering af vinterskader og en maksimering af udbyttepotentialet.

Hvedens fremspiring efter direkte såning kan forventes af aftage med omkring 4% for hver 10 mm forøgelse i sådybden ud over 20 mm og aftage markant ved dybder større end 50 mm. Fremspiringen af lupiner efter direkte såning kan forventes at aftage med ca. 17% for hver 10 mm, sådybden øges ud over 20 mm. Fremspiringen af rødkløver efter direkte såning kan forventes at aftage markant ved sådybder større eller mindre end 10-15 mm (Baker *et al.*, 1996).

- På grund af bedre fugtighedsforhold i de øvre jordlag og en bedre kapillarvirkning nedad, tyder iagttagelser og undersøgelser på, at sådybden til korn i rækkedyrkningsprojektet maksimalt bør være 2-3 cm. Herved opnås den bedste fremspiring, mindst lejesæd og færrest angreb af knækkefodsyge. Sådybden til lupin bør være maks. 2 cm og til rødkløver 1-1,5 cm.

Udsædsmængde og rækkeafstand

Plantetætheden i vinterhvede på den amerikanske prærie øges lineært med udsædsmængder fra 40 til 80 kg pr. ha. Det højeste udbytte efter direkte såning i stub blev opnået ved den største udsædsmængde i et vådt år, mens det omvendte var tilfældet i et varmt og tørt år (McLeod *et al.*, 1992).

I årene 1986-1988 viste 21 forsøg i Canada, at den optimale udsædsmængde til vinterhvede varierede fra 58 kg pr. ha under meget tørre forhold til 148 kg pr. ha under favorable vækstforhold. Kerneudbyttet reduceredes med 7, 19 og 22% ved en forøgelse af rækkeafstanden fra 9 til henholdsvis 18, 27 og 36 cm. Generelt viste forsøgene, at den optimale udsædsmængde øgedes med aftagende rækkeafstand (Tompkins *et al.*, 1991).

- Der foreligger meget få, sikre undersøgelser, vedrørende udsædsmængder og rækkeafstande i forbindelse med pløjefri dyrkning. Derfor anbefales det indtil videre at anvende de udsædsmængder og rækkeafstande, der er gældende ved konventionel dyrkning, samt iværksætte undersøgelser over udsædsmængder og rækkeafstande i forbindelse med rækkedyrkningsprojektet.

Sædskiftet
Der er kun få observationer af sædskiftets betydning ved direkte såning, men meget tyder på, at sædskiftet har større betydning ved direkte såning end ved konventionel jordbearbejdning til kornafgrøder med hensyn til jordstruktur, planteetablering, vækst, plantesygdomme, skadedyr og ukrudt (Rasmussen, 1988). Hollandske undersøgelser har vist, at direkte såning er for risikabelt i afgrøderotationer uden rodfrugter (Ouwerkerk og Perdok, 1994). I et godt sædskifte ville pløjefri dyrkning have klaret sig bedre, ligesom udvikling af bedre såteknik ville have forbedret resultaterne af direkte såning (Christian og Bacon, 1995). Karlen (1990) fremhæver, at sædskiftet er vigtigere ved pløjefri dyrkning end i systemer med pløjning. Dette er specielt vigtigt på dårligt drænede jorde med højt indhold af organisk materiale (Karlen, 1990).

- I rækkedyrkningsprojektet anbefales det at anvende et alsidigt sædskifte til sikring af en god jordstruktur, lav ukrudtsbestand og ringe risiko for sædskiftemæssige sygdoms- og skadedyrsangreb.

Placeret gødning i etablerede plantebestande ved pløjefri dyrkning
En detaljeret beskrivelse af næringsstofoptagelse, -binding, -frigørelse, placering mv. er udførligt beskrevet af Petersen (1999). Emnet behandles endvidere i denne rapports kapitel 5. Følgende afsnit giver en kort omtale vedrørende placering af gødning i etablerede plantebestande ved pløjefri dyrkning, som kun i meget ringe grad har været genstand for forsøgsmæssig afprøvning.

Man kunne forvente, at der ved direkte såning måtte være et større behov for kvælstof end ved pløje-så-systemer for at kompensere for de suboptimale jordfysiske og -biologiske forhold, der hersker ved udeladelse af pløjning. Omvendt må man over en længere tidshorisont forvente, at behovet vil aftage som et resultat af akkumulering og mineralisering af organisk materiale i overfladen, som det er observeret ved dyrkning af sorghum i Texas (Franzluebbers *et al.*, 1995) og ved majsdyrkning uden gødskning i Kentucky (Ismail *et al.*, 1994).

I langvarige forsøg i Norge fandt Riley *et al.* (1994) i 10 ud af 13 forsøgsår, højere udbytter ved lav N-tildeling i upløjede end i pløjede parceller, mens der kun var små forskelle ved højere N-niveauer. Franske undersøgelser viste generelt, at udbyttet var lavere efter direkte såning end efter pløjning ved lav N-tildeling, mens udbytterne var næsten ens ved optimal N-tildeling. Undersøgelsen viste, at der var mangel på tilgængeligt N i det tidlige vækststadium efter direkte såning, hvor N-mineraliseringen syntes lavere efter direkte såning end efter pløjning. Forskellen i kvælstofvirkning imellem de to lande kan ligge i, at jordfugtigheden i de norske undersøgelser var højere – og dermed en bedre opløsning af næringsstofferne – end i de franske undersøgelser, hvor forårsperioden ofte kan have været mere tør. Andre franske undersøgelser viste, at det optimale N-niveau var højere for direkte såning end for pløjning (Massé *et al.*, 1994). Baker og Afzal (1986) fandt, at placering af gødning i koncentrerede bånd fastholdes i direkte sået jord, hvorved der opnås mindre skade på udsæden og større planteoptagelse end ved tilsvarende placering af gødning i bearbejdet jord.

Afgrøder i pløjefri dyrkningssystemer synes ofte hæmmet i væksten i de tidligere vækststadier; men disse synlige forskelle aftager ofte senere i vækstperioden. Gødningsstrategien bør ændres i pløjefri systemer, idet det må tages i betragtning, at potentialet for korttidsimmobilisering af kvælstof i de øvre jordlag er større, og mængden af plantetilgængeligt nitrat-N er mindre end ved konventionel jordbearbejdning. I upløjet jord forbliver næringsstofferne koncentreret i overfladen og bliver ikke opblandet, som i pløjet jord, hvorfor det formodes, at betingelserne for planteoptagelse vil ændres (Malhi og Nyborg, 1990).

Erfaringer har vist, at gødning placeret nær ved planterødderne i vinterhvede sikrer en optimal planteoptagelse og begrænser de konkurrerende ukrudtsplanters N-optagelse (Sojka og Carter, 1994). I langvarige, pløjefri dyrkningssystemer, hvor organisk materiale ophobes i de øvre jordlag, har det vist sig, at gødningen bør placeres lidt dybere end dette lag for at undgå immobilisering af kvælstoffet.

Enkelte undersøgelser har vist, at placering af kvælstof under og mellem planterækkerne har øget N-optagelsen, væksten og kerneudbyttet i vinterhvede, hvor der var betydelige mængder planterester på jordoverfladen (Cochran *et al.*, 1990). Unger og Skidmore (1994) fremhæver, at der ved direkte såning under forhold med store mængder afgrøderester bør tilføres 20-25% mere kvælstof, sammenlignet med pløjning.

I litteraturen er der ikke fundet beskrivelser af teknik til placering af gødning i etablerede afgrøder i pløjefri dyrkningssystemer; men der er ingen tvivl om, at placeringen bør ske med så smalle skær som muligt, dels for at begrænse skade på planterødderne, dels for at undgå at der rodes for meget jord op, og dels for at begrænse trækkraftbehovet.

- I rækkedyrkningssystemet, hvor gødningen skal placeres i en bestemt dybde og afstand fra etablerede planterækker, bør der anvendes smalle tænder for at begrænse trækkraftbehov og beskadigelse af planterødderne samt undgå, at der rodes for meget jord op. Vandindholdet i pløjefri jord er højere tæt ved overfladen, end det er i pløjet jord. Dette tyder på, at såvel udsæd som gødning bør placeres i mindre dybder end ved konventionel dyrkning.

Konklusion

En gennemgang af litteraturen har vist, at der ikke findes specielt udviklet teknik til planteetablering og plantepleje i et rækkedyrkningssystem. En del af den teknik og de principper, der mange steder i verden er udviklet til planteetablering i pløjefri dyrkningssystemer, kan efter modificering anvendes i rækkedyrkningssystemet.

- Der må ikke være komprimerede jordlag, som kan hindre rodudvikling, luftskifte og vandinfiltration, og jordoverfladen skal være jævn og fri for ukrudt på såtidspunktet
- Halm skal fjernes eller snittes og spredes jævnt i hele skårets bredde, således at slæbning med planterester og dannelse af halmdynger undgås
- Udsæden skal placeres i sort jord i ensartet dybde uden nærkontakt med planterester, der kan hindre kontakt mellem udsæd og den fugtige jord. Endvidere kan omsætningsprodukter fra halmomsætningen hæmme fremspiring og vækst.
- For at sikre god kontakt mellem udsæden og den fugtige jord skal sårillen tildækkes med løs jord, der skal trykkes let sammen
- Tand- og vingeskær er mere jordsøgende end skiveskær og bedst egnet til såning, hvor der ligger halm, men har større tilbøjelighed til slæbning med planterester. Skiveskær kræver stor belastning for at kunne gå i jorden, specielt hvis jorden er tør og hård, og der ligger halm på overfladen. Skiveskærene trykker let halmen ned i sårillen med uheldige konsekvenser for fremspiringen.
- Skiveskær kræver oftest en overfladisk jordbearbejdning inden såning, mens tand- og vingeskær arbejder bedre i helt ubearbejdet jord
- Enkelte undersøgelser og erfaringer har vist, at sådybden til korn i upløjede systemer maksimalt bør være 2-3 cm
- Der foreligger meget få undersøgelser over rækkeafstande og udsædsmængder til korn i pløjefri dyrkningssystemer. Det anbefales derfor indtil videre at anvende de normer, der er

gældende ved konventionel dyrkning, samt at iværksætte undersøgelser over rækkeafstande og udsædsmængder i rækkedyrkningsprojektet.

- Der mangler undersøgelser over sædskiftets betydning i rækkedyrkningsprojektet
- Ved placering af gødning i rækkedyrkningsprojektet bør der anvendes så smalle tænder som muligt for at begrænse trækkraftbehovet og beskadigelsen af planterødderne, men der mangler undersøgelser over placeringsdybde og -afstand.

Referencer

Allmaras, R.R., Copeland, S.M., Power, J.F. & Tanaka, D.L., 1994. Conservation tillage systems in the northernmost central United States. In: Carter, M.R. (ed.). Conservation tillage in temperate agroecosystems, Lewis Publishers, 255-284.

Arshad, M.A. & Gill, K.S., 1998. Barley, canola and wheat production under different tillage-fallow-green manure combinations on a clay soil in a cold, semiarid climate. Soil Till. Res., 43, 265-277.

Baker, C.J. & Afzal, M.A.., 1986: Dry fertilizer placement in conservation tillage. Seed damage in direct drilling (No-tillage), Soil Till. Res., 7, 241-250.

Baker, C.J., Saxton, K.E. & Ritchie, W.R., 1996. No-tillage seeding. Science and practice. CAB International, 258 pp.

Ball, B.C., Tebrügge, F., Sartori, L., Giráldez, J.V. & González, P., 1998. Influence of no-tillage on physical, chemical and biological soil properties. Final report, Concerted Action No. AIR 3-CT 93-1464, 7-27.

Bonari, E., Mazzoncini, M., Peruzzi, A. & Ginanni, M., 1995. Soil erosion and nitrogen loss as affected by different tillage systems for durum wheat cultivated in a hilly clayey soil. In: Tebrügge, F. & A. Böhrnsen (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop II, Silsoe, 81-91.

Braim, M.A., Chaney, K. & Hodgson, D.R., 1984. Preliminary investigations on the response of spring barley (hordeum sativum) to soil cultivation with the 'Paraplow'. Soil & Till. Res., 4, 277-293.

Böhrnsen, A., 1995. Influence of straw management by no-tillage winter wheat and winter rape production. In: Tebrügge, F. & A. Böhrnsen (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop II, Silsoe, 131-142.

Böhrnsen, A., 1996. Direktsaat und Strohmanagement. Landtechnik, 51, 8-9.

Böhrnsen, A., 1997. Untersuchungen zur Direktsaat von Winterraps und Winterweizen nach unterscheidlicher Bearbeitung der Vorfruchtreste. Diss. Universität Giessen. Forchungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG), 312. Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Giessen, 252 pp.

Chaudhary, A.D. & Baker, C.J., 1988. Barley seedling establishment by direct drilling in a wet soil. I. Effects of openers under simulated rainfall and high water table conditions. Soil Till. Res., 111, 43-61.

Choudhary, M.A. & Baker, C.J., 1994. Overcoming constrains to conservation tillage in New Zealand. In: Carter, M.R. (ed.). Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publishers, 183-207.

Christian, D.G. & Bacon, E.T.G., 1995. Straw incorporation by different tillage systems on heavy clay soil in Southern England. In: Tebrügge, F. & A. Böhrnsen (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop II, Silsoe, 101-110.

Cochran, V.L.; Morrow, L.A. & Schirman, R.D., 1990. The effect of N placement on grass weeds and winter wheat responses in three tillage systems. Soil Till. Res., 18, 347-355.

Danfors, B., 1988. Orienterende undersökning över bränsleförbrukning och avverkning vid olika jordbearbetningssystem för såbedsberedning. I: L. Hansen & K.J.Rasmussen (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 174-187.

Earl, R. & Spoor, G., 1994. Direct drilling of the oil seed rape trough cereal straw residues: Testing and development of two drills. Report No. OS 10 Silsoe College, Silsoe Campus, Cranefield University Bedford MK 454 DT, UK, 30 pp.

Earl, R.; Wheeler, P.N. & Spoor, G., 1994. Direct drilling through straw residues. In: Jensen, H.E., Schjønning, P., Mikkelsen, S.A. & Madsen, K.B. (eds.). Proc. 13th Conf. of the Int. Soil Tillage Research Organization (ISTRO), Aalborg, Denmark, 1199-1206.

Elonen, P., 1988. Reducerad jordbearbetning. Forskning i Finland. I: Hansen, L. & Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 17-23.

Franzluebbers *et al.*, 1995. Sorghum, wheat and soyabean production as affected by long-term tillage, crop sequence and N fertilization. Plant and Soil, 173(1), 55-65.

Have, H, 1989. Trækkraft-, energi- og effektbehov for forskellige dobbeltdrevne jordbearbejdningsredskaber. NJF seminarrapport, 165.

Hipps, N.A. & Hodgson, D.R. 1988. Residual effects of a slant-legged subsoiler on some soil physical conditions and the root growth of spring barley. J. of Agric. Sci., 110, 481-489.

Holbrook, J.R., 1995. Direct drilling in the UK and Europe, and subsequent research into the effect of light on development in wheat. In: Tebrügge, F. & A. Böhrnsen (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop II, Silsoe, 183-186.

Håkansson, I., Voorhees, W.B. & Riley, H., 1988. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop responses in different traffic regimes. Soil Till. Res., 11, 239-282.

Ismail *et al.*, 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. Soil Sci. Soc. Am. J., 58,193-198.

Janovicek, K.J., Vyn, T.J. & Voroney, R.P., 1999. No-till corn response to crop rotation and in-row residue placement. Agron. J., (submitted).

Jepsen, H., 1985. Sådybde og såmåde. NJF-seminar, 69, 100-103.

Karlen, D.L., 1990. Conservation tillage research needs. J. of Soil and Water Conservation, 45(3), 365-369.

Keen, B.A. & Russel, E. W., 1937. Are cultivation standards wastefully high? J. Roy. Agric. Soc. Eng., 18, 53-60.

Kritz, G., 1983. Såbädder för vårstråsäd. En stikprovundersökning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen. Sveriges Lantbruksuniversitet, 65, 187 pp.

Larney, F.J., Lindwall, C.W., Izaurralde, R.C. & Moulin, A.P., 1994. Tillage systems for soil water conservation on the Canadian prairie. In: Carter, M.R. (ed.). Conservation tillage in temperate agroecosystems, Lewis Publishers, 305-328.

Linke, C. & Köller, K., 1994: Direct drilling - optimizing of openers. Current state and first results. In: Jensen, H.E., Schjønning, P., Mikkelsen, S.A. & Madsen, K.B. (eds.). Proc. 13th Conf. of the Int. Soil Tillage Research Organization (ISTRO), Aalborg, Denmark, 1207-1212.

Loeppky, H., Lafond, G.P. & Fowler, D.B., 1989. Seeding depth in relation to plant development, winter survival, and yield of no-till winter wheat. Agron. J., 81, 125-129.

Malhi, S.S. & Nyborg, M., 1990. Evaluation of methods for placement of fall-applied urea under zero-tillage. Soil Till. Res., 15, 383-389.

Massé, J., Boisgontier, D., Bodet, J.M. & Cillet, J.P., 1994. Feasibility of minimum tillage practices for annual cropping systems in France. In: Carter, M.R. (ed.). Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publishers, 167-179.

McCain, D., 1994. A survey of crop residue management in the USA. In: Jensen, H.E., Schjønning, P., Mikkelsen, S.A. & Madsen, K.B. (eds.). Proc. 13th Conf. of the Int. Soil Tillage Research Organization (ISTRO), Aalborg, Denmark, 923-930.

McLeod, J.G., Dyck, F.B., Campbell, C.A. & Vera, C.L., 1992. Evaluation of four zero-tillage drills equipped with different row openers for seeding winter wheat in the semi-arid prairies. Soil Till. Res., 25, 1-16.

Morken, J., 1994. Implements for ploughless spring seedbed preparation. In: Jensen, H.E., Schjønning, P., Mikkelsen, S.A. & Madsen, K.B. (eds.). Proc. 13th Conf. of the Int. Soil Tillage Research Organization (ISTRO), Aalborg, Denmark, 1213-1219.

Nielsen, V., 1988. Arbejdsbehov og energiforbrug ved reduceret jordbehandling. I: Hansen, I.L. & Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 188-195.

Ouwerkwek, C.V. & Perdok, U.D., 1994. Experiences with minimum and no-tillage in The Netherlands. In: Tebrügge, A. & Böhrnsen, A. (eds.). Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop I, Giessen, 59-67.

Petersen, J., 1999. Placering af gødning i kornafgrøder. Placement of fertilizer in cereal crops. Danmarks JordbrugsForskning. DJF rapport - Markbrug, 11, 64 pp.

Rasmussen, K.J., 1984. Jordbearbejdningsmetoder til vårbyg på grov sandjord. Tidsskr. for Planteavl, 88, 443-452.

Rasmussen, K.J., 1988. Pløjning, direkte såning og reduceret jordbearbejdning til korn. Tidsskr. for Planteavl, 92, 233-248.

Rasmussen, K.J., 1998. Impact of reduced soil tillage on crop yield and soil quality: A Scandinavian Review. Soil Till. Res. In print.

Riley, H., 1988. Virkningen av reducert jordarbeiding på jordfysiske og jordkjemiske forhold. Hansen, I.L. and Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 45-57.

Riley, H., Børresen, T., Ekeberg, E. & Rydberg, T., 1994. Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia. In: Carter, M.R., (ed.). Conservation tillage in temporate agroecosystems, Lewis Publishers, 23-45.

Rydberg, T., 1986. Effects of ploughless tillage on soil physical and soil chemical properties in Sweden. Div. Soil Management, Uppsala, Sweden, 70, 35 pp.

Rydberg, T., 1987. Studies in ploughless tillage in Sweden 1975-86. Div. of Soil Management Uppsala, Sweden, 76, 35 pp.

Sartori, L. & Sandri, R., 1995. Technical and qualitative aspects of three no-till row crop planters on large amounts of residues (cover crops). In: Tebrügge, F. & Böhrnsen, A. (eds.). Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop II, Silsoe, 171-181.

Schjønning, P., 1988. Jordfysiske og -mekaniske undersøgelser ved pløjefri dyrkning. I: Hansen, L. og Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Avd. for Jordbearbetning, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala, 77, 38-44.

Sojka, R.E. & Carter, D.L., 1994. Constrains on conservation tillage under dryland and irrigated agriculture in the United States pacific north west. In: Carter, M.R. (ed.). Conservation tillage in temperate agroecosystems, Lewis Publishers, 285-304.

Spoor, G., 1994. Machinery experiences with direct drilling in the United Kingdom. In: Tebrügge, A. & Böhrnsen, A. (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop I, Giessen, 9-14.

Spoor, G., Böhrnsen, A. & Boisgontier, D., 1998. No-till drills, drilling techniques and crop residue management. Final report, Concerted Action No. AIR 3-CT 93-1464, 29-43.

Stewart, G.A. & Vyn, T.J., 1992. Evaluation of row crop planter modifications for corn production. Final report, 41, SWEEP-TED contract, Guelph, Ontario: Agriculture Canada, 1992.

Tebrügge, F., Böhrnsen, A.; Gross, U. & Düring, R., 1994. Advantages and disadvantages of no-tillage compared to conventional plough tillage. International Soil and Tillage Research Organization (ISTRO), Proc. 13th Int. Congress; Denmark 1994, Vol. II, 737-744.

Tessier, S., Peru, M., Dyck, F.B., Zentner, R.P. & Campbell, C.A., 1990. Conservation tillage for spring wheat production in semi-arid Saskatchewan. Soil Till. Res., 18. 73-89.

Tompkins, D.K., Hultgreen, G.E., Wright, A.T. & Fowler, D.B., 1991. Seed rate and row spacing of no-till winter wheat. Agron. J., 83, 684-689.

Tsatsarelis, C.A., 1994. Tillage practices for corn production in Greece. Possibilities for reduced or no-tillage techniques from energy point of view. In: Tebrügge, A. & Böhrnsen, A. (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop I, Giessen, 131-140.

Tyler, D.D., Wagger, M.G., McCracken, D.W. & Hargrove, W.L., 1994. Role of conservation tillage in sustainable agriculture in the Southern United States. In: Carter, M.R. (ed.): Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publishers, 209-229.

Unger, P.W. & Skidmore, E.L., 1994. Conservation tillage in the southern United States great plain. In: Carter, M.R. (ed.): Conservation tillage in temperate agroecosystems, Lewis Publishers, 329-356.

Wilkins, D.E., Muilenberg, G.A., Allmaras, R.R. & Johnson, C.E., 1983. Grain-drill opener effects on wheat emergence. Transactions of the ASAE, 81, 651-660.

Vyn, T.J., 1987. Crop sequence and conservation tillage effects on soil structure and corn production. Ph.D.-thesis. Guelph, Ontario: University of Guelph.

Kapitel 4

Effekt af pløjefri dyrkning på jorden

Karl Johan Rasmussen og Per Schjønning

Jordbearbejdning har en helt dominerende, direkte indflydelse på jordens fysiske egenskaber, og dermed på jordens vand-, luft- og temperaturforhold samt på den biologiske aktivitet. Indirekte påvirkes også jordens kemi gennem ændring af indholdet af organisk stof, plantenæringsstoffer og kemikalier. Jordens fysiske egenskaber er også afgørende for jordens struktur, hvilket i særdeleshed er vigtigt for plantevæksten, næringsstof- og vandoptagelse samt jorderosion (Ball *et al.*, 1998).

Pløjning har generelt en sanerende virkning på jordstrukturen i de øverste 20-25 cm af jordprofilen. Eventuelle pakningsskader i dette lag bliver udbedret ved pløjningen. Jorden forberedes til etablering af et godt såbed med en god fordeling af tilpas store aggregater omkring og over frøet. Overgang til et rækkedyrkningssystem med pløjefri bearbejdning af jorden kan derfor forventes at have stor betydning for afgrødens etablerings- og vækstbetingelser. Udfordringen med rækkedyrkningskonceptet består i at udnytte de muligheder, der ligger i at begrænse ukrudtstrykket (kapitel 6) og placere gødningen optimalt i forhold til planten (kapitel 5), uden samtidig at introducere dårligere vækstbetingelser som følge af bl.a. uheldig pakning af jorden. Der foreligger en stor viden omkring effekterne af pløjefri dyrkning på de fysiske og kemiske forhold i jorden. Til gengæld findes der – forfatterne bekendt – ikke undersøgelser, der direkte har analyseret et rækkedyrkningskoncept som det aktuelle. Dette kapitel vil derfor gennemgå den relevante litteratur omkring pløjefri dyrkning, med særligt henblik på betydningen af de rapporterede resultater for gennemførelsen af og strategien for jordbearbejdning ved rækkedyrkning.

Jordtæthed og porerumfang

Hvis jorden komprimeres til mere end en kritisk grænse, kan dette begrænse rodudviklingen og dermed skade plantevæksten på grund af stor jordstyrke i forbindelse med reduceret porøsitet (dårlig afdræning og luftskifte). Jordens tæthed er sandsynligvis den mest anvendte jordkvalitetsparameter i jordbearbejdningsforsøg. I europæisk forsøgsarbejde, hvor potentielle problemer som høj jordfugtighed, lavt luftskifte og jordpakning er vigtige faktorer – specielt for forårssåede afgrøder – har måling af jordens tæthed og porøsitet været genstand for stor opmærksomhed, idet alle de nævnte parametre direkte eller inddirekte relateres til disse forhold (Cannell og Hawes, 1994).

Ved årlig pløjning til samme dybde – normalt 20-25 cm – dannes ofte en pløjesål lige under pløjedybden (f.eks. Rydberg, 1987; Schjønning og Rasmussen, 1989; Schjønning *et al.*, 1997). Når pløjedybden reduceres, flytter pløjesålen med opad (Rasmussen *et al.*, 1996, 1998). Ved reduceret bearbejdningsdybde med anvendelse af andre redskaber end ploven, er der ligeledes konstateret komprimerede lag under redskabets arbejdsdybde (Schjønning, 1989; Schjønning og Rasmussen, 1989). En af de mest påfaldende effekter ved pløjefri dyrkning er således den forøgede jordtæthed i midten af det oprindelige pløjelag, oftest i dybden 10-15 cm (Ball *et al.*,1998; Elonen, 1988; Rydberg, 1986, 1987; Schjønning 1989; Riley *et al.*, 1994). Njøs og Børresen (1988) fandt reduceret rumfang af såvel total porøsitet som makroporer i overfladisk bearbejdet jord, sammenlignet med pløjet jord – specielt i dybden 11-16 cm. I dybden 13-25 cm fandt Comia *et al.* (1994) signifikant højere jordtæthed i upløjet end i pløjet jord. I grov sandjord var porerumfanget ens i dybden 0-5 cm i pløjet og upløjet jord. I dybderne

5-10 cm og 15-20 cm var porerumfanget lavest i upløjet jord, mens der i 25-30 cm ikke fandtes nogen forskel (Ball *et al.*, 1998; Elonen, 1988; Rasmussen, 1984).

På den ene side kan der altså konstateres problemer med dannelse af en pløjesål som en negativ effekt af pløjningen, hvilket yderligere ansporer til at eksperimentere med et rækkedyrkningskoncept uden pløjning. På den anden side vil pløjefri dyrkning nemt give problemer med fortættede zoner i det øvre jordlag. Der har været eksperimenteret med forskellige måder at løsne jorden på i systemer med pløjefri dyrkning. I et langvarigt forsøg med direkte såning fandt Braim *et al.* (1984) reduceret penetreringsmodstand i jorden og forbedret rodvækst efter anvendelse af en Paraplow til ca. 30 cm dybde. Der blev registreret en positiv udbytteeffekt af denne behandling i forhold til uløsnet og direkte sået jord. Hipps og Hodgson (1988) fandt tilsvarende positive effekter på penetreringsmodstand og rodvækst efter løsning med Paraplov i direkte sået jord. Her blev jordvolumenet med penetreringsmodstand under en for rodvækst kritisk grænse på 1.5 MPa (Dexter, 1987) øget med 52% i forhold til ubehandlet jord. Forsøgene antyder, at jordløsningen skal gentages med mellemrum, idet der efter 20 måneder var sket en genpakning af jorden (Hipps og Hodgson, 1988). Også andre løsneredskaber kan tænkes anvendelige i systemer med direkte såning. Det såkaldte Dutzi-system muliggør ikkevendende løsning af jordlagene ned til ca. 35 cm i forbindelse med overfladisk såbedstilberedning og såning (Weichel, 1984). Systemet er blevet testet under danske forhold og har vist sig effektivt og praktisk anvendeligt (Munkholm *et al.*, 1998).

I relation til rækkedyrkningskonceptet består udfordringen i at udvikle bearbejdnings- og såmetoder, der vil tage højde for den skadelige komprimering i bestemte dybder. Der kan meget vel vise sig at være behov for at anvende forskellig grad af løsning af jorden fra år til år. Adskillige af de mere specifikke parametre, der behandles i det følgende, er relateret til jordtætheden, og dette kapitel kan derfor med fordel læses med det in mente, at skadelig pakning skal undgås og/eller, at ikke-vendende jordløsning skal indgå som en del af rækkedyrkningskonceptet.

Porestørrelsesfordeling

Ændringer i jordens porøsitet vil oftest være forbundet med ændringer i porestørrelsesfordelingen, hvilket har betydning for bl.a. luftskifte og for jordens evne til at tilbageholde plantetilgængeligt vand. I et forsøg med direkte såning på grovsandet jord fandt Rasmussen (1984), at rumfanget af makroporer (> 60 μm) aftog markant med dybden i pløjelaget. Rumfanget var signifikant større i dybden 0-5 cm end i de dybere lag. I dybden 0-5 cm var rumfanget af makroporer større i direkte sået end i pløjet jord. Forskellen var dog ikke signifikant. I dybderne 5-10 og 15-20 cm måltes signifikante reduktioner i rumfanget af makroporer efter direkte såning, mens der i dybden 25-30 cm ikke måltes nogen forskel. I den direkte såede jord, var rumfanget af medium porer (0,2-60 μm) signifikant lavere i dybden 0-5 cm end i dybderne 5-10, 15-20 og 25-30 cm. Direkte såning øgede signifikant rumfanget af medium porer i dybderne 5-10 og 15-20 cm, men ikke i dybderne 0-5 og 25-30 cm. Rumfanget af små porer (< 0,2 μm) var upåvirket af jordbearbejdningsmetoderne (Rasmussen, 1984). Forøget volumen af medium porer indebærer ofte aftagende luftfyldt porøsitet, mens den tilgængelige vandmængde stiger (Rasmussen, 1984; Riley *et al.*, 1994).

Ball *et al.* (1998) fandt, at rumfanget af makroporer aftog med dybden under konventionel bearbejdning, men forøgedes med dybden under direkte såning. Nederst i det oprindelige pløjelag samt i den øvre del af undergrunden i lerjord fandt Rydberg (1987) øget volumen af makroporer (> 30 μm) i pløjefri jord, sammenlignet med pløjet jord, på grund af flere regnormegange og bedre porekontinuitet.

Vandledningsevne og infiltration af vand
Komprimerede jordlag medfører aftagende volumen af makroporer, som har stor betydning for transport af vand. Især på svære jordtyper er der behov for en struktur, der fremmer afledningen af overskudsnedbør. I Skotland var vandinfiltrationen 2-40 gange højere efter konventionel jordbearbejdning end efter direkte såning på grund af et større volumen af ledende porer efter konventionel bearbejdning (Ball *et al.*, 1998). Tilsvarende fandtes der i dette arbejde en reduceret værdi for mættet hydraulisk ledningsevne i 0-5 og 5-25 cm dybde i direkte sået i forhold til pløjet jord. Til gengæld gav mange års direkte såning anledning til en øget mættet hydraulisk ledningsevne i jordlaget 25-40 cm i forhold til årligt pløjet jord (Ball *et al.*, 1998), hvilket kunne tilskrives udvikling af et vertikalt orienteret, kontinuert makroporesystem som følge af en øget regnormebestand.

På lerjord i Sverige fandtes der en signifikant større mættet hydraulisk ledningsevne i pløjefri end i pløjet jord i dybden 25-30 cm, hovedsagelig på grund af bedre porekontinuitet i den pløjefri jord (Comia *et al.*, 1994). På en svær lerjord i Finland fandt Aura (1988), at den pløjede jord, som havde det største volumen af makroporer, også havde den højeste hydrauliske ledningsevne. Rumfanget af makroporer, såvel som den mættede hydrauliske ledningsevne, var lavest i upløjet jord.

Luftskifte
Transport af luft til planterødder og til jordens mikroorganismer er afgørende for optimal næringsstofomsætning og plantevækst. Også på dette område skal jordbearbejdningen i forbindelse med den pløjefri rækkedyrkning sikre en tilfredsstillende funktion. I et forsøg på fin sandblandet lerjord, hvor reduceret jordbearbejdning i form af fræsning og harvning blev sammenlignet med pløjning over en 18-års periode, reduceredes rumfanget af grovporer efter reduceret bearbejdning, sammenlignet med pløjning (Schjønning, 1989). Der blev fundet kritisk lave værdier for luftdiffusion i såvel det ubearbejdede jordlag ved reduceret bearbejdning som i pløjesålen i den pløjede jord. Modelberegninger viste, at de kompakte jordlag kunne give anledning til lave iltkoncentrationer i både pløjet og reduceret bearbejdet jord. På grund af den store biologiske respiration, der erfaringsmæssigt findes i de øvre jordlag, pegede disse beregninger på, at systemet med reduceret bearbejdning havde størst risiko for kritisk lave iltkoncentrationer i jordlagene under 30 cm (Schjønning, 1989). Undersøgelsen her peger bl.a. på en behovsbestemt løsning af jorden i specifikke dybder frem for en kontinuerlig anvendelse af samme strategi.

I tyske undersøgelser (Tebrügge og Wagner, 1995) gav det lave volumen af makroporer i direkte sået jord anledning til en lav luftpermeabilitet nær jordoverfladen, mens luftpermeabiliteten på grund af større regnormeaktivitet var større i 18 og 32 cm dybde efter direkte såning end efter konventionel bearbejdning. Dette er modsat undersøgelser i Skotland, der viste lavere makroporøsitet og luftpermeabilitet i direkte sået end i konventionelt bearbejdet jord gennem hele toplaget, i 0-25 cm dybde (Ball *et al.*, 1998).

Et index for porekontinuitet, beregnet som kvotienten af relativ diffusivitet og luftfyldt porøsitet, viste en højere grad af kontinuitet og en mindre grad af 'krogethed' i porer større end ca. 200 µm i reduceret, bearbejdet, sandblandet lerjord. Når også porer i størrelsen ca. 60-200 µm var luftfyldte, syntes pløjet jord at have den største kontinuitet af de luftledende porer (Schjønning, 1989).

Jordens vandindhold
På grund af en lavere porøsitet var jordens vandindhold i de øvre jordlag (0-10 cm) højere i upløjet end i pløjet jord, mens vandindholdet i dybden 10-20 cm var højest, hvor der var pløjet (Elonen, 1988). Samme iagttagelser er gjort af Rydberg (1986) og Riley (1988). Ball *et al.*, (1998) fandt et 1-6% højere vandindhold, og Tesseir *et al.*, (1990) fandt et 8% højere vandindhold i jorden efter direkte såning end efter pløjning til hvede på en siltholdig lerjord. Dette resulterede i højere hvedeudbytter i tørre år. Lavere volumen af makroporer og højere volumen af medium, vandholdende porer samt det forhold, at planterester på jordoverfladen reducerer fordampningen, er mulige årsager til det højere vandindhold i de øvre jordlag efter pløjefri dyrkning (Rydberg, 1988).

Højt vandindhold i de øvre jordlag og lav fordampning er værdifulde faktorer i områder med lav nedbør efter såning om foråret, som det er tilfældet i den østlige del af Sverige (Rydberg, 1988). I områder med kort vækstsæson, som i Finland, og specielt på ler- og siltjorde, kan højt vandindhold i de øvre jordlag forsinke fremspiringen (Elonen, 1988). For danske forhold må det forventes, at et højt vandindhold er det største paktiske problem på sværere jorde netop i form af forsinket fremspiring og reduceret vækst.

Jordtemperatur
Elonen (1988) og Rasmussen (1988) har samstemmende fundet, at jordtemperaturen om foråret var 0,3-1,0°C lavere i 5 og 10 cm dybde efter direkte såning end efter pløjning i perioden fra såning og indtil en uge efter fremspiring. Ball *et al.*, (1998) fandt, at temperaturen var 1-3°C lavere i direkte sået end i pløjet jord. Årsagen til den lavere jordtemperatur var et højere vandindhold i jorden i de øvre jordlag og mere plantemateriale på overfladen, hvilket reducerede fordampningen. Den gennemsnitlige jordtemperatur aftog med 0,3-0,5°C pr. procentpoint stigning i jordvandindhold. Den lavere jordtemperatur vil forsinke planternes fremspiring, udvikling og modning – specielt i områder med sen og kort vækstsæson (Riley, 1988). Fremspiringen ved direkte såning blev forsinket med 1-2 dage i forhold til pløjning (Børresen, 1988), mens Rasmussen (1988) fandt en forsinkelse på ca. 3 dage.

Aggregatstabilitet
Vandstabile aggregater i de øverste få cm jordlag vil forbedre spiring og planteetablering på grund af reduceret overfladetilslemning, skorpedannelse og erosion og dermed bedre vand- og lufttransport i jorden. Mange rapporter har vist, at andelen af vandstabile aggregater i de øvre 25-30 mm er større i ubearbejdet end i pløjet jord efter 2-10 år – selv på dårligt strukturerede jorde. Den positive indflydelse af pløjefri praksis på overfladejordens aggregering er mere fremherskende, hvor planterester efterlades på jordoverfladen frem for at blive afbrændt (Cannell og Hawes, 1994). Reduktioner i intensiteten af jordbearbejdning øger med sikkerhed aggregatstabiliteten (Ball *et al.*, 1998; Schjønning *et al.*, 1997).

Våd aggregatstabilitet i overfladejorden blev målt igennem en 13-års periode i langvarige forsøg med vårbyg på en siltholdig marskjord. Igennem måleperioden havde den pløjede jord den laveste mængde af vandstabile aggregater, sammenlignet med overfladisk fræset jord (Schjønning og Rasmussen, 1989). Børresen (1997) fandt, at aggregaterne blev grovere, desto mere plantemateriale, der blev efterladt på jordoverfladen, og Rydberg (1986) fandt grovere aggregater i såbedet efter pløjefri dyrkning end efter pløjning.

Rodudvikling
Rodudviklingen er ofte forsinket efter direkte såning – specielt i midten af det oprindelige pløjelag (Rydberg, 1987), men revner, ormegange og større porer i jorden vil imidlertid i nogle

tilfælde fremme rodudviklingen. Revner er oftest mindre efter reduceret jordbearbejdning end efter pløjning, mens antallet af ormekanaler oftest er større (Rydberg, 1987). Comia *et al.* (1994) fandt større rodtæthed i pløjet end i upløjet jord i alle dybder ned til 35 cm. Dog var forskellen kun signifikant i dybden 13-25 cm. Også Chaney *et al.* (1985) fandt dårligere rodvækst i direkte sået jord, sammenlignet med i pløjet jord. På grovsandet jord, på sandblandet lerjord og på lerjord fandt Rasmussen (1991) ingen signifikante forskelle i rodlængden i 0-95 cm dybde efter pløjning og overfladisk fræsning. I den grovsandede jord, hvor rodudviklingen var begrænset til ca. 60 cm dybde, var størstedelen af rødderne koncentreret i pløjelaget (0-25 cm). I den sandblandede lerjord og i lerjorden, hvor rødderne kan udvikles til større dybder end 100 cm, var koncentrationen lidt større – men ikke signifikant – i de øvre jordlag efter reduceret bearbejdning end efter pløjning.

Jorderosion

Erosionstab af jord fra de dyrkede marker medfører forringelse af jordens frugtbarhed og kan føre til vandforurening med kemikalier. Forsøg har vist, at jordbearbejdningsstrategien har stor betydning for erosionens omfang (Schjønning *et al.*, 1995). Erosionsprocessen påvirkes ved såvel primærbearbejdning (±pløjning) som sekundærbearbejdning (harvning og såning), herunder sårækkernes etablering i forhold til konturerne (Colborne og Staines, 1985; Schjønning *et al.*, 1995). Indførelse af et rækkedyrkningssystem vil således med meget stor sandsynlighed også påvirke erosionsrisikoen.

I Nordamerika er erosionen et af de alvorligste miljømæssige problemer i intensivt landbrug. For at begrænse dette problem har man udviklet *conservation tillage*, som er et jordbearbejdningssystem med udeladelse af pløjning og med store mængder afgrøderester efterladt på jordoverfladen. Jorden bearbejdes overfladisk eller tilsås med forskellige former for direkte såteknik. Metoden, der er beskrevet i USA allerede i 1960'erne, er af amerikanske landmænd blevet et vigtigt alternativ til konventionelle pløje-så-systemer i bestræbelserne på at finde et effektivt system til beskyttelse af jorden imod erosion. Til beskyttelse af jordoverfladen er direkte såning den mest konsekvente form for conservation tillage. Dette system omfattede i 1995 et areal på 16 mio. ha i USA, og systemets anvendelse er stigende i store dele af verden (Costa, 1997).

For norske forhold er det vist, at forårspløjning, reduceret jordbearbejdning og direkte såning beskytter jorden bedre imod erosion end efterårspløjning (Børresen, 1990). Erosion forekommer i områder med snesmeltning om foråret, om efteråret efter høst og mere tilfældigt såvel sommer som vinter. Intensiv regn om sommeren kan forårsage kraftig erosion (Skøyen, 1988), men er dog mindre udbredt i de europæiske, tempererede områder end i Nordamerika. Reduceret jordbearbejdning begrænsede erosionen med halvdelen til to tredjedele, sammenlignet med konventionel jordbearbejdning i et 6-årigt norsk forsøg. Den mindste erosion blev fundet på græsklædt jord (Njøs og Hove, 1986; Skøyen, 1988). Uheldigvis er den jord, hvor erosionen er værst, også den vanskeligste at håndtere uden pløjning, idet der ofte er tale om jord med dårlig afdræning og stor følsomhed for pakning (Riley *et al.*, 1994). I tyske undersøgelser var der < 1% overfladeafstrømning efter reduceret jordbearbejdning, mens der var 6-15% afstrømning fra konventionelt bearbejdet jord (Ehlers, 1997). Bonari *et al.* (1995) fandt, at direkte såning gav en signifikant reduktion i jorderosion og N-tab i sammenligning med reduceret jordbearbejdning og konventionel jordbearbejdning med pløjning. Reduceret jordbearbejdning, udført med tallerkenharve, gav en større erosion end pløjning.

Danske undersøgelser har påvist den største vanderosion fra efterårssåede vintersædsmarker, der blev pløjet forud for såbedstilberedning (Schjønning *et al.*, 1995; Hansen *et al.*, 1996). Den

mindste erosion blev – ikke uventet – fundet under permanent græs. En svag mættet hydraulisk ledningsevne og infiltrationskapacitet af den nyligt pløjede og straks derefter furepakkede jord i forbindelse med såbedstilberedningen er forklaringen på den store erosion fra vintersædsmarkerne (Schjønning *et al.* 1995; Schjønning *et al.*, 1996). De danske undersøgelser påviste også risiko for øget erosion ved op-ned såning på skråninger i forhold til såning langs konturerne. Dette blev dog kun undersøgt for pløjet jord, hvorfor effekten af rækkedyrkning i et ikke-pløjet system er ukendt.

Tab af P er generelt korreleret til tab af jord, men undersøgelser viser også, at afstrømning fra direkte sået jord og fra græsmarker har højere koncentration af vandopløseligt P. Dette skyldes en større koncentration af P i de øvre jordlag (Ball *et al.*, 1998). Det totale P-tab reduceredes ikke i samme grad som jordtabet i norske undersøgelser (Skøyen, 1988).

Jordkemiske forhold

Pløjefri dyrkning ændrer de jordkemiske forhold – navnlig pga. manglende vending af jorden og dermed opkoncentrering af plantemateriale i de øvre jordlag. Dette har indflydelse på jordparametrenes variation over dybden og på tabet af gasser og vandopløste stoffer til omgivelserne. De parametre, der påvirkes stærkest, er organisk stof, makronæringsstofferne N, P og K samt pH (Ball *et al*, 1998).

Organisk materiale

Ved pløjefri dyrkning akkumuleres organisk materiale nær jordoverfladen. Det organiske materiale har stor indflydelse på jordens frugtbarhed, stukturstabilitet og termiske egenskaber (Riley, 1996). Strukturstabiliteten aftager på de fleste mineraljorde, når intensiv jordbearbejdning forårsager en reduktion i jordens indhold af organisk stof. Sådanne ændringer kan føre til forringelse af jordens bearbejdelighed. Derfor er jordens indhold af organisk materiale måske den vigtigste indikator for dens frugtbarhed og produktivitet (Cannell og Hawes, 1994).

Ved pløjefri dyrkning vil efterladte planterester på jordoverfladen øge indholdet af organisk materiale i de øvre jordlag. Efter en årrække med pløjefri jordbearbejdning blev der i de øverste 0-5 cm fundet en forøgelse på 0,3-1,2% organisk C (Rydberg, 1987; Elonen, 1988; Riley, 1988; Børresen og Njøs, 1993). Stigningen i indholdet af organisk C i 0-10 cm dybde var 0,1-0,22% (Nielsen og Hansen, 1982; Rasmussen, 1981; Rasmussen og Andersen, 1994). Ved afslutningen af 6 års forsøg med direkte såning fandt Rasmussen (1988) en signifikant forøgelse i indholdet af organisk C på 0,79 procentenheder i de øverste 0-2 cm jordlag, mens forskellene i 2-10 og 10-20 cm dybde ikke var signifikante. I dybder større end 10 cm blev der ikke fundet ændringer i indholdet af organisk stof som følge af pløjefri dyrkning (Elonen, 1988; Riley, 1988; Børresen og Njøs, 1993; Nielsen og Hansen, 1982, Rasmussen og Andersen, 1994; Rasmussen, 1988).

Rt, fosfor og kalium

De fleste undersøgelser har vist, at jordens pH normalt er upåvirket af jordbearbejdningssystemer og dybder (Comia *et al.*, 1994; Nielsen og Hansen, 1982; Rasmussen, 1981; Rasmussen, 1991; Rasmussen og Andersen, 1991; Rydberg, 1987; Riley, 1988), men i langvarige forsøg (6-18 år) har det vist sig, at pH reduceredes med 0,2-0,3 enheder i toplaget (0-5 cm) efter reduceret jordbearbejdning (Ball *et al.*, 1998; Ekeberg og Riley, 1997; Børresen og Njøs, 1993; Rasmussen, 1988).

Fosfor (P) og kalium (K) har tendens til af blive koncentreret nær overfladen efter direkte såning. Den øgede tilbageholdelse i de øvre jordlag er en følge af manglende opblanding i jorden ved pløjning samt mindre udvaskning som følge af lavere permeabilitet efter direkte såning.

Rodtætheden kan blive større i de øvre jordlag, når der er et stort indhold af næringsstoffer. En ulempe er, at dette kan medføre en forsuring af jorden (Ball *et al.*, 1998), som tidligere beskrevet. Dette forhold bør iagttages ved implementering af rækkedyrkningens placering af gødning.

Kvælstof
Jordtypen såvel som jordbearbejdning øger mineraliseringen af kvælstof fra jordens pulje af organisk materiale (Hansen og Djurhuus, 1997). Udeladelse af jordbearbejdning vil således medvirke til, at faren for kvælstofudvaskning reduceres. Kvælstof tabes fra jorden enten ved udvaskning gennem jordprofilen, afstrømning med overfladevand eller som luftformige gasser.

Der er generelt mere mineralsk kvælstof i de øverste 0-10 cm jordlag i direkte sået end i konventionelt bearbejdet jord (Hütsch, 1991). I løbet af vinteren bevæger kvælstoffet sig ned gennem jordprofilen, og den højere koncentration i dybden efter pløjning viser, at udvaskningen er større efter konventionel jordbearbejdning end efter direkte såning (Ball *et al.*, 1998; Düring *et al.*, 1998). Udvaskning af kvælstof fra dyrket jord er et af de største miljømæssige problemer på de sandede jorde i den sydvestlige del af Sverige og i den vestlige del af Danmark. På sådanne jorde vil det gennemsnitlige årlige kvælstoftab være 40-70 kg N/ha (Hansen og Djurhuus, 1997; Stenberg *et al.*, 1997).

Udvaskningen øges med stigende intensitet af jordbearbejdning – specielt når den udføres om efteråret (Hansen og Djurhuus, 1997; Stenberg *et al.*, 1997). Stubbearbejdning om efteråret efterfulgt af pløjning, sammenlignet med stubbearbejdning om foråret uden efterfølgende pløjning på sandblandet lerjord gav kvælstoftab på henholdsvis 76 og 35 kg N pr. ha (Hansen og Djurhuus, 1997). På grov sandjord måltes ingen forskelle i N-udvaskning mellem efterårs- og forårspløjning, men direkte såning reducerede N-tabet med 13 kg pr. ha, sammenlignet med pløjning (Hansen og Djurhuus, 1997).

De jordfysiske forhold, der er knyttet til direkte såning, øger mulighederne for denitrifikation i forhold til konventionel jordbearbejdning. Direkte sået jord har et større vandindhold, større vandfyldt jordvolumen (hvilket indikerer et lavere iltindhold) og større jordtæthed, end pløjet jord har. Denitrifikationstabet vil være højere under sådanne forhold samt under forhold med dårlig afdræning. Selvom denitrifikationstabet kun udgør en lille del af det totale N-tab i løbet af vinteren, kan tabet blive betydeligt større efter reduceret jordbearbejdning end efter pløjning I forsøg med direkte såning på lerjord i England blev der imidlertid fundet et kvælstoftab, der var 22% lavere end ved pløjning. Tabet forekommer især efter kraftig regn, hvor den tætte direkte såede jord giver ideelle forhold for denitrifikation (Christian og Ball, 1994). På grovsandet jord var der ligeledes tendens til lidt lavere N-udvaskning efter direkte såning end efter pløjning ved dyrkning af rug og vårbyg (Djurhuus og Simmelsgaard, 1988).

Sammenlignet med pløjning vil direkte såning i jord med organisk materiale på overfladen synes at være den bedste metode til begrænsning af N-mineralisering i efterårs- og vinterperioden. I denne periode vil – afhængigt af forhistorien – næsten 200 kg N/ha være til rådighed for udvaskning ved store nedbørsmængder i efterårs- og vinterperioden. Der mangler yderligere forskning på dette område (Massé *et al.*, 1994), og gødskningsniveauet ved anvendelse af placeret gødning i et rækkedyrkningssystem skal fastlægges forsøgsmæssigt.

Jordens fauna
Jordens fauna opdeles ofte i *mikro-*, *meso-*, og *makrofauna*. De fleste individer i førstnævnte gruppe anses for at være bakterieædere – altså ganske små organismer. Blandt mesofaunaen kan nævnes springhaler og mider. Der er kun et ganske begrænset kendskab til, hvorledes disse to

grupper af organismer (mikro- og mesofaunaen) påvirkes af jordbearbejdning. Et igangværende projekt (1998-2000) forsøger at afdække disse forhold (Axelsen *et al.*, 1998).

Til makrofaunaen hører regnormene, som udgør den væsentligste del af den animalske biomasse i jorden. Jordbearbejdning og halmhåndtering samt dybden af iblanding synes at påvirke antallet af regnorme. Der ses normalt en øget aktivitet af regnorme efter reduceret jordbearbejdning (Pitkänen, 1993), men ikke alle arter reagerer på samme måde (Andersen, 1987; Haukka, 1988).

Wardle (1995) har forsøgt at samle den tilgængelige viden om jordbearbejdningens effekt på faunaen – bredt betragtet – og konkluderer, at regnorme, løbebiller og edderkopper rammes hårdest af den mekaniske bearbejdning. Også mider og springhaler påvirkes betydeligt. Derimod er effekterne på mikrofaunaen ikke særligt kraftige. Set i relation til rækkedyrkningskonceptet må der på dette grundlag forventes en øgning i antallet af meso- og makrofaunaindivider ved rækkedyrkning uden pløjning. Den forskellige bearbejdning på tværs af rækkerne kan introducere barrierer for dyrenes migration i jorden. Effekten heraf er ikke kendt.

Konklusioner og praktiske konsekvenser

Af den gennemgåede litteratur fremgår tydeligt, at der med overgang til jordbearbejdningssystemer uden pløjning vil ske markante ændringer i en række af jordens fysiske og kemiske parametre. Ikke al den foreliggende viden fra forsøg med direkte såning og reduceret jordbearbejdning kan anvendes direkte i forbindelse med planlægningen af rækkedyrkningssystemet. Det skyldes, at der – i modsætning til traditionelle systemer med direkte såning – med rækkedyrkningen ønskes etableret kontrolleret trafik og styret placering af rækkerne år efter år. Imidlertid er mange af de refererede resultater af stor værdi, idet der kan tages højde for en række uheldige effekter af pløjefri dyrkning.

Pakningsgraden i forskellige jorddybder er et helt centralt spørgsmål ved pløjefri dyrkning. Resultaterne har vist, at undladelse af pløjning har en positiv langtidsvirkning på den komprimerede pløjesål, der findes i pløjede marker. Samtidig fremgår det klart, at der på de fleste jordtyper er en risiko for, at direkte såning eller reduceret bearbejdning vil lede til komprimerede jordlag nærmere jordoverfladen. Og dette kan have ganske store, negative effekter på vigtige processer som bortledning af overskudsnedbør, luftskifte til planterødder samt rodvækst. Rækkedyrkningssystemet må designes på en sådan måde, at der tages højde for at imødegå risikoen for denne pakning under bearbejdningsdybden. Det betyder, at der skal være mulighed for løsning af jorden i variabel dybde under såtænderne i rækkerne. Af hensyn til bl.a. ukrudtsproblematikken er det endvidere vigtigt, at der ikke bliver tale om vending af jorden. Desuden skal bearbejdningstanden – om muligt – have en "passiv" vekselvirkning med jorden, idet resultaterne viser, at pto-drevne redskaber kan reducere strukturstabiliteten, mindske porekontinuiteten og skabe et komprimeret jordlag under bearbejdningsdybden.

Referencer

Andersen, A., 1987. Effekten af direkte såning og pløjning på populationen af regnorme. Tidsskr. for Planteavl, 91, 3-14.

Aura, E.,1988. Inverkan av reducerad jordbearbetning på jordstruktur och markens dräneringsegenskaper. Hansen, I.L. & Rasmussen, K.J. (red). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 58-63.

Axelsen, J.A., Elmholt, S.E., Debosz, K., Mikkelsen, G., Schjønning, P., Olesen, J.E., Rasmussen, K.J., Krogh, P.H., Holmstrup, M., Kristensen, H.L., Christensen, O.M., Mather, J.G., Bilde, T., Gjelstrup, P., Petersen, H. & Rasmussen, J., 1998. Kvalitative og kvantitative sammenhænge imellem jordbearbejdning, mikroflora, fauna og timing af nitrogenfrigørelse i økologisk jordbrug. Projektbeskrivelse. Upubliceret.

Ball, B.C.; Tebrügge, F.; Sartori, L.; Giráldez, J.V. & González, P., 1998. Influence of no-tillage on physical, chemical and biologecal soil properties. Final report, Concerted Action No. AIR 3-CT 93-1464, 7-27.

Bonari, E.; Mazzoncini, M.; Peruzzi, A. & Ginanni, M., 1995. Soil erosion and nitrogen loss as affected by different tillage systems for durum wheat cultivated in a hilly clayey soil. In: Tebrügge, F. og Böhrnsen, A. (eds.). Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop II, Silsoe, 81-91.

Braim, M.A., Chaney, K. & Hodgson, D.R., 1984. Preliminary investigations on the response of spring barley (hordeum sativum) to soil cultivation with the 'Paraplow'. Soil & Till. Res., 4, 277-293.

Børresen, T., 1988. Virkningen av reducert jordarbeiding på jordtemperaturen. Hansen, I.L. og Rasmussen, K.J. (red). Rapport fra NJF-seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 73-82.

Børresen, T., 1990. Forurensningssituasjonen og bearbeidingen. NJF-Utredning, 56, 4-17.

Børresen, T., 1997. The effect of straw management and shallow tillage/direct drilling on soil properties and crop yields on a loam and a silty loam soil in south-east Norway. Internal report. Department of Soil and Water Sciences, Agricultural University of Norway.

Børresen, T. & Njøs, A., 1997. Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on clay soil in south-eastern Norway. 1. Soil properties. Soil Till. Res., 28, 97-108.

Cannell, R.Q. & Hawes, J., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. Soil Till. Res., 30, 245-282.

Chaney, K., Hodgson, D.R. & Braim, M.A., 1985. The effects of direct drilling, shallow cultivation and ploughing on some soil physical properties in a long-term experiment on spring barley. J. of Agric. Sci., 104, 125-133.

Christian, D.G. & Ball, B.C., 1994. Reduced cultivation and direct drilling for cereals in Great Britain. In: Carter, M.R.: Conservation tillage in temperate agroecosystems, Lewis Publishers, 117-140.

Colborne, G.J.N. & Staines, S.J., 1985. Soil erosion in south Somerset. J. of Agric. Sci., 104, 107-112.

Comia, R. A., Stenberg M., Nelson, P., Rydberg, T. & Håkansson, I., 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. Soil Till. Res., 29, 335-355.

Costa, J., 1997. Farmer acceptance and public support for no-tillage conservation farming in Spain. In: Tebrügge, F. & Böhrnsen, A. (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc EC-Workshop III, Evora, 127-135.

Dexter, A.R., 1987. Mechanics of root growth. Plant and Soil, 98, 303-312.

Djurhuus, J. & Simmelsgaard, S.E., 1988. N-udvaskning ved direkte såning. Hansen, I.L. & Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 104-110.

Düring, R.-A., Basch, G. & Hummel, H.E., 1998. Environmental aspects of no-tillage application – erosion and leaching of agrochemicals -. In: Final report, Concerted Action No. AIR 3-CT 93-1464, 45-61.

Ehlers, W., 1997. Optimising the components of the soil water balance by reduced and no-tillage In: Tebrügge, F. & Böhrnsen, A. (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop III, Evora, 107-118.

Ekeberg, E. & Riley, H.C.F., 1997. Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on morainic loam soil in south-east Norway. Soil. Till. Res. In print.

Elonen, P., 1988. Reducerad jordbearbetning. Forskning i Finland. Hansen, I.L. & Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 17-23.

Hansen, B., Sibbesen, E., Schjønning, P., Thomsen, A. & Hasholt, B., 1996. Surface runoff, erosion and loss of sediment and phosphorus in Danish plot studies. In: Kronvang, B., Svendsen, L.M. & Sibbesen, E. (Eds.). Phosphorus and sediment. Erosion and delivery, transport and fate of sediment and sediment-associated nutrients in watersheds. Proc. Int. Workshop, Silkeborg, Denmark, 1995. NERI Technical Report, 178, 29-32.

Hansen, E.M. & Djurhuus, J., 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. Soil Till. Res., 41, 203-219.

Haukka, J., 1988. Effects of reduced cultivation on earthworms. Hansen, I.L. & Rasmussen, K.J. (eds.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 83-89.

Hipps, N.A. & Hodgson, D.R., 1988. Residual effects of a slant-legged subsoiler on some soil physical conditions and the root growth of spring barley. J. of Agric. Sci., 110, 481-489.

Hütsch, B., 1991: Einfluss differenzierter Bodenbearbeitung auf die Stickstoffdynamik im Boden in Abhängigkeit von Beprobungstermin und Standort, unter besonderer Berücksichtigung von N-Freisetzung, Nitratverlagerung und Denitrifikation. Diss. Universität Giessen, Institut für Pflanzenernährung, Selbstverlag, 179 pp.

Massé, J., Boisgontier, D., Bodet, J.M. & Cillet, J.P., 1994. Feasibility of minimum tillage practices for annual cropping systems in France. In: Carter, M.R.: Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publishers, 167-179.

Munkholm, L.J., Schjønning, P. & Rasmussen, K.J., 1998. Non-inverting soil tillage as a mean of optimizing soil tilth. NJF-Seminar No. 286, Soil Tillage and Biology, Norway. NJF-Report, 124, 26-33.

Nielsen, C. & Hansen, L., 1982. Reduceret jordbearbejdning på svær marskjord. Tidsskr. for Planteavl, 86, 567-576.

Njøs, A. & Børresen, T., 1988. Reducert jordbearbeiding i Norge. I: Hansen, L. & Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, SLU, Uppsala, Sverige, 77, 24-36.

Njøs, A. & Hove, P., 1986. Studies of soil erosion by water. Norw. Agric. Res. Council. Final report, 655.

Pitkänen, J., 1993. Effects of tillage and straw management on earthworm burrows in soil. In: Elonen, P. and Pitkänen, J. (eds.). Proc. NJF-Seminar No. 228, Soil tillage and environment. NJF-Report, 88, 301-306.

Pitkänen, J & Nuutinen, V., 1995. Soil macropores, saturated hydraulic conductivity and earthworm activity on two soils under long-term reduced tillage in southern Finland. Acta Zool. Fennica, 196, 251-253.

Rasmussen, K.J., 1981. Reduceret jordbearbejdning til monokultur af byg. Tidsskr. for Planteavl, 85, 171-183.

Rasmussen, K.J., 1984. Jordbearbejdningsmetoder til vårbyg på grov sandjord. Tidsskr. for Planteavl, 88, 443-452.

Rasmussen, K.J., 1988. Pløjning, direkte såning og reduceret jordbearbejdning til korn. Tidsskr. for Planteavl, 92, 233-248.

Rasmussen, K.J., 1991. Reduceret jordbearbejdning og italiensk rajgræs som efterafgrøde. II. Jordtæthed, rodudvikling og jordkemi. Tidsskr. for Planteavl, 95, 139-154.

Rasmussen, K.J. & Andersen, A., 1994. 13 års forsøg med jordbearbejdning og nedmuldning af halm og efterafgrøde på marskjord. Statens Planteavlsforsøg. SP-Rapport, 13, 21 pp.

Rasmussen, K.J., Hansen, E.M. & Schjønning, P., 1996. Grønne marker og pløjedybde i et integreret sædskifte med vårsæd på sandjord. Statens Planteavlsforsøg. Grøn Viden, 172, 8 pp.

Riley, H., 1988. Virkningen av reducert jordarbeiding på jordfysiske og jordkjemiske forhold. I: Hansen, L. & Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 45-57.

Riley, H., 1996. Estimation of physical properties of cultivated soils in south-east Norway from readily available soil information. Norw. J. Agr. Sci., 25, 51 pp.

Riley, H., Børresen, T., Ekeberg, E. & Rydberg, T., 1994. Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia. In: Carter, M.R. (ed.). Conservation tillage in temporate agroecosystems, Lewis Publishers, 23-45.

Rydberg, T., 1986. Effects of ploughless tillage on soil physical and soil chemical properties in Sweden. Div. Soil Management, Uppsala, Sweden, 70, 35 pp.

Rydberg, T., 1987. Studies in ploughless tillage in Sweden 1975-86. Div. Soil Management, Uppsala, Sweden, 76, 35 pp.

Rydberg, T., 1988. Pløjningsfri odling. Dets invirkan på evaporationen. I: Hansen, L. & Rasmussen, K.J. (red.). Rapport fra NJF-Seminar. Reduceret jordbearbejdning. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Uppsala, Sverige, 77, 64-72.

Schjønning, P., 1989. Long-term reduced tillage. II. Soil pore characteristics as shown by gas diffusivities and permeabilities and air-filled porosities. Soil Till. Res., 15, 91-103.

Schjønning, P. & Rasmussen, K.J., 1989. Long term reduced cultivation. I. Soil strength and stability. Soil Till. Res., 15, 79-90.

Schjønning, P., Sibbesen, E., Hansen, A.C., Hasholt, B, Heidmann, T., Madsen, M.B. & Nielsen, J.D., 1995. Surface runoff, erosion and loss of phosphorus at two agricultural soils in Denmark in plot studies 1989-92. Danish Institute of Plant and Soil Science, 14, 196 pp.

Schjønning, P., Sibbesen, E., Hansen, A.C., Hasholt, B, Heidmann, T., Madsen, M.B. & Nielsen, J.D., 1996. Erosion plot studies 1989-92: Fit of a simple model to surface runoff from agricultural land. In: Kronvang, B., Svendsen, L.M. & Sibbesen, E. (eds.): Phosphorus and sediment. Erosion and delivery, transport and fate of sediment and sediment-associated nutrients in watersheds. Proc. Int. Workshop, Silkeborg, Denmark, 1995. NERI Technical Report, 178, 51-52.

Schjønning, P., Thomsen, H. & Olesen, J.E., 1997. Effects of secondary tillage strategy on soil and crop characteristics. Proc. 14th Conf. of the Int. Soil Tillage Research Organization. Fragmenta Agronomica, 2B/97, 579-582.

Skøyen, S., 1988. Soil erosion and runoff losses of phosphorus. Effects of tillage and plant cover. Norw. Agric. Res., 2, 207-218.

Stenberg, M., Arson, H., Linden, B., Rydberg, T. & Gustafson, A., 1997. Nitrogen leaching in different tillage systems. Proc. 14th ISTRO Conf., Pulawy, Poland, 2B, 605-608.

Tebrügge, F. & Wagner, A., 1995. Soil structure and trafficability after long-term application of no-tillage. In: Tebrügge, F. & Böhrnsen, A. (eds.): Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proc. EC-Workshop II, Silsoe, 49-57.

Tessier, S., Peru, M., Dyck, F.B., Zentner, R.P. & Campbell, C.A., 1990. Conservation tillage for spring wheat production in semi-arid Saskatchewan. Soil Till. Res., 18, 73-89.

Wardle, D.A., 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. Advances in Ecological Research 26, 105-184.

Weichel, E. 1984. Unkrautbekämpfung durch Vereinfachung und Verbesserung der Bodenbearbeitung. Z. Pflanzenkr. Pflanzensch., Sonderheft, 259-267.

Kapitel 5

Gødningsplacering i et rækkedyrkningskoncept

Jens Petersen

I dette kapitel behandles gødningsplaceringen i relation til dyrkning af kornafgrøder efter rækkedyrkningskonceptet. Med henblik på at forøge planteoptagelsen af tilførte næringsstoffer, og dermed fremme afgrødens vækst, indebærer rækkedyrkningskonceptet, at gødningen kan placeres i en forudbestemt afstand til afgrøden.

Placering af gødningen kan foretages i forbindelse med såning af vårsæd, hvor gødningen placeres i en afgrænset zone (bånd; streng) i en forudbestemt horisontal og vertikal afstand fra sårækken. Hvor der i det følgende ikke er nævnt andet, forstås der ved placering af gødning en horisontal afstand på 5-6 cm fra sårækken og 3-4 cm under sådybden. Dette er i dag den almindelige forståelse af gødningsplacering.

Placering i etablerede afgrøder er imidlertid ikke forsøgt, men med mulighed for genfindelse af afgrøderækkerne og dermed mulighed for styring af redskaber, vil gødningsplacering i etablerede afgrøder være en nærliggende mulighed. Igangværende forsøgsarbejde fokuserer derfor på effekten af gødningsplacering i etablerede kornafgrøder med henblik på implementering i rækkedyrkningskonceptet.

Dette kapitel bygger på en litteraturgennemgang (Petersen, 1999), hvortil der foretages en generel henvisning, og hvor der kan findes udførlige litteraturhenvisninger. Litteraturgennemgangen baserer sig på resultater med vårsæd, men flere af de faktorer, der er af betydning for effekten af gødningsplacering, er af generel karakter og vil også have betydning i etablerede afgrøder. Ud over forøget planteoptagelse af tilførte næringsstoffer opridses også nogle perspektiver ved gødningsplacering i relation til rækkedyrkningskonceptet.

Tidligere forsøg med gødningsplacering

Ved gennemgangen af litteraturen har forsknings- og forsøgsarbejde vedrørende placering af gødning til kornafgrøder været koncentreret til tre geografiske områder:

- England i 1950-60'erne
- Skandinavien i 1960-70'erne
- Nordamerika, især Canada, fra 1950'erne og frem til i dag.

Interessen for gødningsplacering i 1950'erne skal bl.a. ses på baggrund af situationen efter 2. verdenskrig, hvor der var vareknaphed på både gødning og fødevarer. Gødningsplaceringen var en mulighed for at øge produktionen med et mindre forbrug af gødning. Forsøgene er i øvrigt udført ved et generelt lavere gødningsniveau end det i dag anvendte.

Både de engelske og de skandinaviske forsøg er udført som dyrkningsforsøg med fokus på kerneudbyttet, og der er ikke foretaget grundliggende og målrettede undersøgelser af gødningsplaceringens indflydelse på afgrødens vækst og udvikling. Huhtapalos' forsøg i 1968-70 er de mest systematiske, og de er nærmest blevet klassiske. Resultaterne refereres ofte og ukritisk i populære fremstillinger, hvor de fremstår som en sikker effekt af gødningsplaceringen. Imidlertid angiver den oprindelige reference ingen usikkerhed på de opnåede resultater, og der kan stilles spørgsmål ved, om der er opnået signifikante forskelle. På trods af dette drages følgende konklusioner vedr. placeringsgeometrien:

- Placering i korn bør foretages i hvert andet rækkemellemrum, centreret mellem to sårækker (12 cm afstand) og som udgangspunkt 3-4 cm under sådybden
- Placering i hvert andet rækkemellemrum forenkler konstruktionen af såmaskinen, idet antallet af gødningssåtragte herved kan halveres.

Den ovenfor nævnte placeringsgeometri findes på kommercielt såudstyr, der i 1970'erne blev forhandlet i Danmark, men princippet kan genfindes på moderne svensk og finsk såudstyr. Placering af gødning i forbindelse med såning af vårsæd er fortsat udbredt i Sverige, Norge og Finland, mens metoden ikke anvendes meget i Danmark.

I Nordamerika anvendes primært ammoniumholdige gødninger, og især den højt koncentrerede og billige urea. I 1960'erne blev forsøgene udført primært som dyrkningsforsøg, mens der fra 1980'erne i stor udstrækning er anvendt isotop-mærket kvælstof i ramme-, potte- og laboratorieforsøg. I Canada er der undersøgt en række principielle forhold vedrørende gødningsplacering, og selv om disse undersøgelser i stor udstrækning er udført med efterårsudbragt urea, kan de have interesse for danske forhold.

Ofte er effekten af gødningsplacering målt på parametre (kerneudbytte og kvælstofoptagelse) ved modenhed. Petersen (1999) indtager en kritisk holdning til de forsøg, der udelukkende evaluerer placeringseffekten på udbyttet ved modenhed, idet dette i kernefyldningsperioden kan være påvirket af mange andre faktorer end netop gødskningen. Kun i nogle enkelte forsøg er placeringseffekten målt i strækningsfasen og på rødderne, og der er da ofte tale om få måletidspunkter. Petersen (1999) fremdrager derfor undersøgelser, hvor der er anvendt isotopteknik. Disse resultater er ikke i samme omfang afhængige af de generelle produktionsforhold og giver derfor en langt bedre forståelse af, hvorledes gødningsplaceringen kan påvirke optagelsen af det tilførte næringsstof.

I relation til korndyrkning efter rækkedyrkningskonceptet under danske forhold, fokuseres der i det følgende på effekten af placering af kvælstofholdige handelsgødninger. I mindre omfang omtales placeringen af fosfor, mens placering af kalium ikke omtales, idet kun ganske få har beskæftiget sig med placering af dette hovednæringsstof.

Naturlige faktorer, der har indflydelse på placeringseffekten

De naturlige faktorer relaterer sig til de klimatiske og jordbundsmæssige forhold, og kan således også være en effekt af forudgående tilførsel af husdyrgødning – evt. gennem flere år, nedmuldning af afgrøderester eller vanding i vækstsæsonen.

Mængden af et næringsstof, som jorden potentielt kan stille til rådighed på et givent tidspunkt, udtrykkes ved fluxen, der sammenfatter transportprocesserne diffusion og massestrømning. Betydningen af disse to transportprocesser afhænger af det enkelte næringsstof, jordens vand- og næringsstofstatus samt afgrødens vandoptagelse.

Den største effekt af gødningsplacering kan forventes under forhold med reduceret potentiel flux, svarende til, at næringsstoffet er svært plantetilgængeligt. Dette kan skyldes ugunstige betingelser for gødningsvirkning, f.eks. hvor kvælstofgødning henligger uopløst på jordoverfladen. Både nedbørsmængden og nedbørsfordelingen har stor indflydelse på raten og perioden for optagelse af den tilførte gødning. Derfor vekselvirker placeringseffekten af kvælstof med nedbøren i ugerne efter gødningstildeling. Dette underbygges af dyrkningsforsøg, hvor den udbyttemæssigt største effekt af placering blev opnået i år med forsommertørke.

Der kan dog også forventes en placeringseffekt under ugunstige vækstbetingelser, f.eks. ved placering af fosfor i afgrøder med svag rodvækst. Fosfor transporteres ved diffussion, og rødderne udbredelse begrænser den aktuelle optagelse. Til danske agerjorde er der i flere årtier sket en nettotilførsel af fosfor, hvilket har resulteret i et højt gennemsnitlig fosforindhold. På denne baggrund kan der i Danmark generelt ikke forventes en effekt af placering af fosfor. Det er derfor ikke overraskende, at der i forsøg, udført i de landøkonomiske foreninger, ofte fandtes en lille og insignifikant effekt af fosforplacering i korn.

Faktorer, der kan påvirkes ved gødningsplacering

Flere faktorer kan påvirkes ved den aktuelle udbringning. I relation til rækkedyrkningskonceptet drejer det sig især om placeringsgeometri, men også om faktorer som gødningstype, mængde og udbringningstidspunkt.

Placeringsgeometri

Da plantenæringsstofferne kun optages fra fugtig jord, er det vigtigt, at gødningen bringes ned i jorden, men jo dybere gødningen placeres, jo mere energi skal der anvendes i form af trækkraft. Derfor skal gødningen ikke placeres dybere end nødvendigt. Når den vertikale fordeling er fastlagt, kan der fokuseres på den horisontale fordeling, dvs. afstanden til planterækken. Da forsøgene er udført i vårsæd, udtrykkes placeringsgeometrien ved den horisontale × vertikale afstand fra udsæden.

En horisontal afstand på 0 cm, kombineret med en placering af gødningen vertikalt under udsæden, kunne synes fordelagtig, men pga. gødningsskærets dybere bearbejdning af jorden, opstår der risiko for et dårligt såbed, hvilket vil modvirke den positive effekt af gødningsplacering.

Gødningen skal placeres tæt på, men ikke i kontakt med udsæden, og dyrkningsforsøg viser, at en horisontal afstand på 2 cm ikke altid er tilstrækkelig for alle gødningstyper. Ved anvendelse af flydende ammoniak, der er den potentielt mest skadelige gødning, synes en kombination af horisontal og vertikal afstand fra sårækken på ca. 5 × 5 cm at være tilstrækkelig til at undgå skade. I området omkring 5 × 3 til 7 × 5 cm (horisontal × vertikal afstand fra sårækken) kan gødningen placeres betingelsesløst, og der vil kunne forventes en positiv effekt på kornafgrødens næringsstofoptagelse og vækst. En horisontal afstand på 5-7 cm svarer til den halve rækkeafstand i korn, sået på 12 cm.

Placeres gødningen uden for dette område, specielt tættere på afgrøderækken, må der, for at sikre en positiv effekt, opstilles en række betingelser, bl.a. mht. gødningstype og mængde, idet gødningstypen vekselvirker med placeringsgeometrien. Fosforgødninger kan, uden at skade afgrøden, således placeres tættere på afgrøden end kvælstof- og kaliumholdige gødninger.

Både for kvælstof og fosfor er der en øvre grænse for den afstand fra planterækken, hvori gødningen med fordel kan placeres. Dette er ikke undersøgt systematisk, men meget tyder på, at omkring 10 cm er den maksimale horisontale afstand for næringsstoffer, hvor den potentielle flux begrænses af diffusion. Dette er tilfældet med fosfor og til dels ammonium, hvor højt pH i gødningsstrengen hæmmer nitrificeringen. For næringsstoffer, der transporteres ved massestrømning, betyder den horisontale afstand sandsynligvis mindre.

Under forhold, hvor diffusionen er begrænsende for den potentielle flux, enten pga. forsommertørke, svag rodudvikling eller det aktuelle næringsstof, vil det ved placering af gødning til

afgrøder med mere end ca. 20 cm rækkeafstand således være nødvendigt med et gødningsskær til hver række, hvorimod et gødningsskær midt mellem hver anden række muligvis er tilstrækkelig ved rækkeafstande mindre end ca. 20 cm. Dette stiller krav til de øvrige elementer (udstyr til ukrudtsregulering og direkte såning) i rækkedyrkningskonceptet, idet 12 cm rækkeafstand med hensyn til gødningsplacering er fordelagtig i forhold til dobbelt rækkeafstand.

Ved såning af vårsæd er gødningsplacering omkring 5 × 4 cm horisontal × vertikal afstand fra sårækken udbredt i Skandinavien. I finske, svenske og norske forsøg blev der gennemgående opnået et merudbytte ved placering på 3-4 hkg/ha. Tilsvarende merudbytter er opnået i mere end 400 forsøg, gennemført i de landøkonomiske foreninger. I de svenske forsøg blev det i øvrigt konstateret, at strået blev blødere ved gødningsplacering, især ved tilførsel af store mængder kvælstof. Ligeledes var der en tendens til højere kvælstofindhold i kernen ved gødningsplacering, mens både tusindkornsvægten og litervægten stort set var upåvirket af udbringningsmetoden.

Ved gødningsplacering er næringsstofferne ikke jævnt fordelt i pløjelaget, og gødningsplacering øger i første omgang næringsstofoptagelsen fra gødningszonen, hvilket giver anledning til øget vækst af såvel de overjordiske som underjordiske plantedele. Der er imidlertid betydelige vanskeligheder forbundet med bestemmelse af den underjordiske tørstofproduktion og i særdeleshed den rumlige fordeling. Røddernes rumlige fordeling illustreres ofte kun kvalitativt ved fotos. Kun få referencer angiver en kvantitativ rodfordeling, og da kun målt på et eller to tidspunkter i vækstsæsonen. Hvad skridning angår, er der fundet op mod en fordobling af rodtætheden i gødningsstrengen, både i forhold til rodtætheden mellem rækkerne uden gødningsplacering og i forhold til forsøgsled, hvor gødningen var bredspredt.

En forøget rodtæthed i gødningszonen vil give mulighed for øget udnyttelse af de øvrige tilførte næringsstoffer, mens en forøget længdevækst (roddybde) uden for gødningszonen vil give mulighed for en øget udnyttelse af jordens øvrige ressourcer (næringsstoffer og vand). Der savnes imidlertid detaljeret viden om gødningsplaceringens kvantitative effekt på rødderne og deres vækst.

Gødningsplaceringens indflydelse på udvikling og vækst af de overjordiske plantedele i strækningsperioden baserer sig dels på spredte observationer og dels på nogle enkelte referencer, idet der kun er gennemført få systematiske undersøgelser. Disse tyder imidlertid alle på en betydelig effekt på plantevæksten og næringsstofoptagelsen i 2-6 uger efter gødningstilførsel samt, at det forspring, afgrøden opnår ved gødningsplacering, ikke kan indhentes senere i den vegetative fase.

Rækkedyrkningskonceptet sigter mod et pløjefrit dyrkningssystem, hvor den nye afgrøde etableres i den forrige afgrødes rækkemellemrum. I forsøg med gødningsplacering under pløjefri dyrkning blev der opnået en betydelig forøgelse i optagelsen af tilført kvælstof i forhold til bredspredning alene, men også i et konventionelt dyrkningssystem blev der opnået en forøgelse ved placering i forhold til indarbejdning af den bredspredte gødning. I flere forsøg er der i øvrigt fundet en generel tendens til højere optagelse af placeret kvælstof i det konventionelle i forhold til det pløjefri dyrkningssystem.

Litteraturen om placeringsgeometri koncentrerer sig om gødningsplacering i forbindelse med såning af vårsæd, og der er ikke fundet litteratur vedrørende placeringsgeometriens betydning i etablerede afgrøder. Formodentlig kan en række af de opnåede erfaringer med den horison-

tale afstand til afgrøden overføres til etablerede afgrøder, men i relation til rækkedyrkningskonceptet skal der også tages højde for den mekaniske skade ved placering i etablerede afgrøder. Der kan således opstå risiko for, at den positive effekt af gødningsplacering reduceres.

Gødningstype og -mængde, samt udbringningstidspunkt
Gødningerne reagerer ikke på samme måde, hverken i jorden eller ved afgrødens optagelse. Eksempelvis er nitrifikationen en betydningsfuld proces i relation til ammoniumholdige gødninger, mens nitratholdige gødninger umiddelbart kan transporteres med massestrømning, hvilket giver bedre betingelserne for optagelse. Desuden kan der forekomme vekselvirkninger mellem de tilførte næringsstoffer. Kvælstof stimulerer f.eks. fosforoptagelsen. Dette gælder især ammonium i forhold til nitrat. Specielt må flydende ammoniak, urea og gylle placeres på en sådan måde, at nitrifikationen ikke hæmmes væsentligt, idet der kan dannes skadeligt nitrit ved tilførsel af høje koncentrationer og/eller store mængder af disse gødningstyper.

Der kan konstateres en vekselvirkning mellem udbringningsmetode og gødningsmængde således, at gødningsplacering er mest fordelagtig ved anvendelse af små gødningsmængder. Det er i øvrigt vanskeligt at belyse effekten af den tilførte mængde, idet der samtidig sker en påvirkning af enten koncentrationen i gødningszonen eller gødningszonens udbredelse. Placeres gødningen i en meget lille zone, er der ikke fysisk plads til tilstrækkelig kontakt mellem næringsstof og rødder, og samtidig kan en høj koncentration skade rødderne.

Under danske forhold foretages der i langt overvejende grad forårsudbringning. Der er imidlertid ikke fundet referencer, der belyser betydningen af tidspunktet for placeringen af gødningen. Det skyldes, at i vårsæd foretages gødningsplaceringen samtidig med kornsåning ved anvendelse af en kombinationssåmaskine, hvor placeringsgeometrien er kontrolleret af såskærenes indbyrdes afstand.

I etablerede afgrøder er der mulighed for, at gødningen kan placeres tidsmæssigt uafhængig af såtidspunktet, men der er ikke fundet referencer, der belyser dette. Forsøg med udbringningstidspunktet er overvejende udført med overfladeudbringning, men i sådanne forsøg vil der være en ubekendt tidsfaktor, der løber fra selve gødningsudbringningen, og indtil planterne optager de tilførte næringsstoffer, hvilket svarer til den vertikale transport af næringsstofferne ned i jorden. En sådan tidsfaktor vil minimeres ved gødningsplacering.

Andre effekter og perspektiver ved gødningsplacering
Hovedparten af den pillerede handelsgødning i Danmark udbringes med centrifugalspredere. Ved udbringning langs skel kan op til 20-30% af den udbragte gødning i yderste omfang spredes ud over skel, men ved anvendelse af korrekt indstillet kantspredeudstyr kan dette merforbrug på visse spredere reduceres til 1-2%, mens merforbruget fortsat er 10-20% ved udbringning med andre spredere. Ved placering af gødningen anvendes jordsøgende udstyr, der kun kan operere på marken, hvorved risikoen for ukontrolleret udbringning ud over skel er udelukket. Alene ved ændret udbringningsmetode er der mulighed for en forøget udnyttelse af det samlede gødningsforbrug.

Ved placering af gødningen bliver gødningsvirkningen uafhængig af nedbørshændelser efter gødningsudbringning, hvorved gødningsvirkningen bliver mere sikker, samtidig med at virkningen vil være umiddelbar. Den placerede gødning er ydermere beskyttet mod erosion, forårsaget af enten vind eller kraftig nedbør, sammenlignet med gødning udbragt på jordoverfladen. Ved anvendelse af gødninger med risiko for tab ved ammoniakfordampning medfører gødningsplacering også en væsentlig reduktion i det potentielle tab.

Ved bredspredning efterfulgt af nedharvning vil gødningen være jævnt fordelt i 8-10 cm af pløjelaget. Dette vil medføre et højt potentiale for immobilisering af kvælstof, tilført i mineralsk form. Ved placering af gødningen i koncentrerede strenge parallelt med afgrøderækken, undgås en total opblanding i et stort jordvolumen, hvilket vil reducere potentialet for biologisk immobilisering og fysisk/kemisk fiksering, og derved give afgrøden mulighed for at optage en større andel af det tilførte næringsstof, hvorved udnyttelsen kan øges.

Ved øget anvendelse af organiske gødninger (husdyrgødning, grøngødning og halmnedmuldning) kan dyrkningsjordens indhold af organisk stof, og dermed også immobiliseringspotentialet, forøges. Denne ændring i dyrkningspraksis må medføre en forventning om en øget effekt af gødningsplacering.

Placering af gødningen vil primært øge optagelsen af de tilførte næringsstoffer og derved give mulighed for øget vækst i kornafgrøders busknings- og strækningsfase. En sekundær effekt kan være øget rodvækst, hvor udnyttelsen af jordens øvrige ressourcer i form af andre næringsstoffer og vand øges. Gødningsplaceringens effekt på kornafgrøder i busknings- og strækningsfasen er dog ikke tilstrækkeligt undersøgt.

Når placering af gødning forøger afgrødens vækst, kan det modsætningsvis antages, at ukrudtets vækst reduceres. Et forøget forhold mellem afgrødens og ukrudtets vækst i strækningsfasen kan have to positive effekter: Både afgrødens konkurrenceevne over for ukrudt og muligheden for succesfuld, mekanisk ukrudtsregulering vil blive forøget. Netop den relative forskel mellem afgrøde og ukrudt er en nøgleparameter for mekanisk ukrudtsregulering. Dette giver mulighed for at reducere anvendelsen af herbicider i kornafgrøder, dyrket efter rækkedyrkningskonceptet.

Konklusion

I litteraturen er der enighed om, at gødningsplacering i en sikker, men dog ikke for stor, afstand fra planterækken under ugunstige forhold har en positiv effekt på afgrødens vækst og næringsstofudnyttelse.

I forbindelse med gødskningen afhænger placeringseffekten af placeringsgeometrien, udbringningstidspunktet samt gødningstypen, både hvad angår enkeltgødninger og blandingsgødninger. Placeringsgeometriens indflydelse på afgrøden er imidlertid ikke tilstækkelig systematisk undersøgt. Hovedspørgsmålet er: Hvorledes skal kvælstofgødning placeres i relation til afgrøderækken og jordoverfladen (horisontal og vertikal afstand) i relation til forårsgødskning i etablerede kornafgrøder? For opnåelse af en grundlæggende forståelse af placeringens indflydelse på afgrødens vækst og næringsstofudnyttelse bør der foretages målinger i busknings- og strækningsfasen. Dette sker i igangværende forsøg ved anvendelse af isotop-mærket kvælstof og under kontrollerede dyrkningsbetingelser.

Referencer

Petersen, J., 1999. Placering af gødning i kornafgrøder. DJF rapport – Markbrug, 11, 64 pp.

Kapitel 6

Mekanisk ukrudtsbekæmpelse ved rækkedyrkning samt teknik til ukrudtsbekæmpelse

Bo Melander, Martin Heide Jørgensen & Rikke Klith Jensen

Ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrum kan udføres ved hjælp af kemiske, mekaniske eller termiske metoder. Kun de mekaniske metoder vil blive nærmere omtalt her. Ved rækkedyrkning opstår der to bekæmpelsessituationer, som det kendes fra de traditionelle rækkeafgrøder:

1) Bekæmpelse af ukrudt i rækkemellemrummet
2) Bekæmpelse af ukrudt i selve afgrøderækken

I de traditionelle rækkeafgrøder er der gennem årene opnået megen viden og erfaring med mekanisk bekæmpelse i mellemrummet. Ukrudtsbekæmpelsen vil næsten altid kunne gennemføres, fordi der findes en række redskabstyper til brug under forskellige forhold (Mattsson *et al.*, 1990; Weber, 1997). Derimod har mekanisk bekæmpelse af ukrudt i rækken af etablerede afgrøder vist sig at være betydelig vanskeligere, fordi selektivitetsforholdene ofte er dårlige (bl.a. Melander, 1997, 1998; Melander og Hartvig, 1995; Ascard og Bellinder, 1996).

Ukrudtsharvning

Siden slutningen af 80'erne er der gennemført en række undersøgelser vedrørende anvendelsen af ukrudtsharvning i korn. Disse har ført til en bedre forståelse af metodens begrænsninger og muligheder, bl.a. hvad angår at modellere metodens positive og negative effekter, henholdsvis bekæmpelsen af ukrudtet og skaden på afgrøden (Rasmussen, 1991). Ved anvendelse af den rette strategi har det været muligt at opnå bekæmpelseseffekter i vårbyg på niveau med almindelige bredspektrede herbicidløsninger (Rasmussen og Rasmussen, 1994,1995; Rasmussen og Svenningsen, 1995; Rasmussen og Petersen, 1997). De gode resultater er som regel opnået, når to eller flere behandlinger har været udført ved at kombinere de tre elementer *blindharvning, almindelig ukrudtsharvning* og *selektiv ukrudtsharvning*. På nuværende tidspunkt er ukrudtsharvning i vårbyg ikke økonomisk konkurrencedygtig med almindelige bredspektrede herbicidløsninger.

Erfaringerne fra vinterhvede er knap så gode, fordi det er vanskeligere at bekæmpe ukrudtsarter med pælerod og strækningsvækst, som f.eks. lugtløs kamille (*Tripleurospermum inodorum)* og korn-valmue (*Papaver Phoeas)* (Wilson *et al.*, 1993; Rasmussen, 1998; Welsh *et al.*, 1996). En rimelig bekæmpelse af disse arter vil kræve, at behandlingerne påbegyndes om efteråret, hvilket nemt kan føre til alvorlige udbyttedepressioner (Rasmussen, 1998).

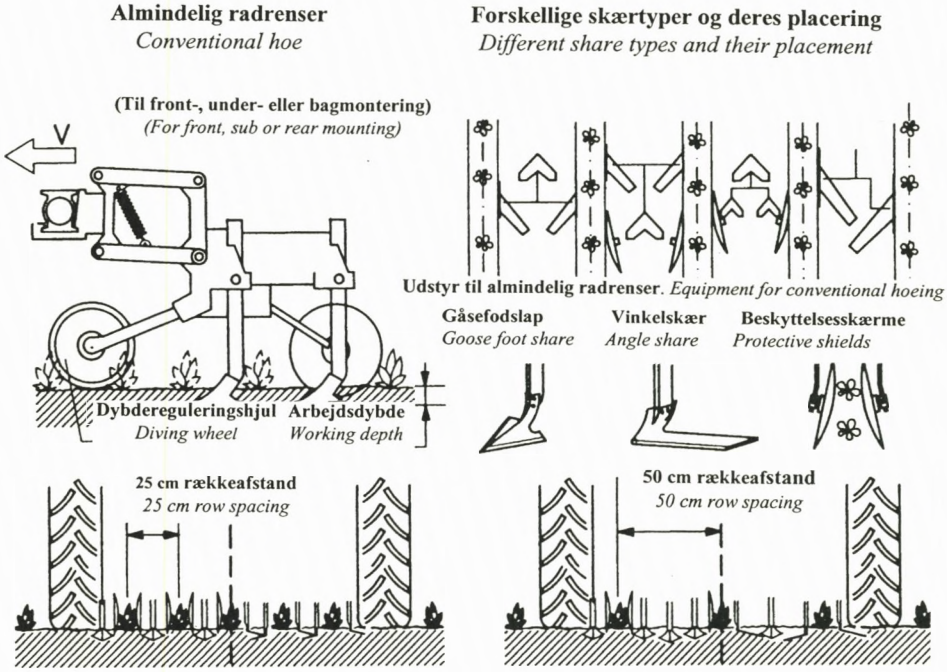
Ukrudtsharvning kan, i modsætning til radrensning, anvendes til bekæmpelse af ukrudt i hele bredden, dvs. også i selve afgrøderækken. Arbejdskapaciteten ved ukrudtsharvning kan være særlig stor på grund af muligheden for arbejdsbredder på op til 12 m. Alt afhængigt af den ønskede bekæmpelsesintensitet vil kørehastigheden typisk variere fra 2-3 km/t til 8-9 km/t. Moderne ukrudtsharver er typisk konstrueret som langfingerharver, fordi denne harvetype kan anvendes over flere af afgrødernes udviklingstrin, end eksempelvis netharven kan. Grundlæggende virker alle harvetyper ved, at ukrudtet primært reguleres ved jordtildækning og kun i mindre grad ved løsning (Rasmussen, 1991). Der er ingen væsentlig forskel på de gængse harvefabrikaters egnethed til ukrudtsbekæmpelse, da de alle kan indstilles til at give en bestemt jordtildækning og dermed en bestemt bekæmpelsesintensitet. Kriterier ved valg af ukrudtsharve bør derfor alene findes i brugervenlighed, pris og holdbarhed (Rasmussen, 1992; Rasmussen *et al.*, 1997). Det er teknisk muligt at styre harvens behandlingsintensitet

automatisk og kontinuerligt hen over marken vha. sensorteknik (Søgaard, 1996), men ingen af harvefabrikaterne på det danske marked kan endnu tilbyde en sådan facilitet.

Radrensning

Almindelig radrensning

En væsentlig fordel ved almindelig radrensning (figur 6.1) med gåsefodslapper i korn, sammenlignet med ukrudtsharvning, er at bekæmpelsestidspunktet ikke er nær så afgørende. Der kan bekæmpes over en længere periode uden risiko for afgrødeskader, og større ukrudt kan som regel bekæmpes tilfredsstillende. Radrensningens større sikkerhed i ukrudtsbekæmpelsen kommer især til udtryk i vintersæd, hvor ukrudtsharvningen har vist sig at have nogle klare svagheder, men også i vårsæd kan radrensningsteknikken være nyttig ved mere besværlige ukrudtsproblemer (Irla, 1991; Dierauer og Stöppler-Zimmer, 1994; Johansson, 1998). I nyere danske og svenske undersøgelser af radrensning i vårsæd og vintersæd har der været opnået bekæmpelseseffekter på niveau med herbicidbehandling ved 1-2 behandlinger, og radrensningen har kunnet gennemføres uden nævneværdige skader på afgrøden. I den danske undersøgelse var en rækkeafstandsforøgelse fra 12-20 cm nødvendig for at gennemføre radrensningen, men dette gav kun små udbyttenedgange i størrelsesorden 0-5% under forudsætning af, at udsædsmængden pr. ha blev bibeholdt, og at radrensningen gav en tilfredsstillende ukrudtsbekæmpelse. I den svenske undersøgelse, der kun blev udført i vårsæd, medførte en rækkeafstandsforøgelse fra 12,5-25 cm en udbyttenedgang på 6-8%.



Figur 6.1. Almindelig radrenser. *Conventional hoe. (Adapted from Weber, 1997)*

Radrensningen har dog den klare begrænsning, at ukrudtet kun bekæmpes effektivt dér, hvor skærene arbejder. Ukrudtet i selve afgrøderækken bekæmpes kun i mindre grad, alt afhængigt af afstanden mellem skæret og afgrøderækken samt den anvendte kørehastighed. Skær af gåsefodstypen og de mere flade V-formede skær kan begge skubbe eller hyppe jord ind i rækken ved højere kørehastigheder, hvormed mindre ukrudtsplanter kan reguleres ved jordtildækning (Johansson, 1998; Rasmussen *et al.*, 1998). Ukrudtet i rækken kan også hæmmes betydeligt ved at sikre en høj plantebestand i rækken således, at konkurrencen mod ukrudtet bliver meget høj (Rasmussen og Petersen, 1990). I korn kan en høj plantebestand i rækken bl.a. opnås ved at bibeholde udsædsmængden, når rækkeafstanden øges fra 12-24 cm.

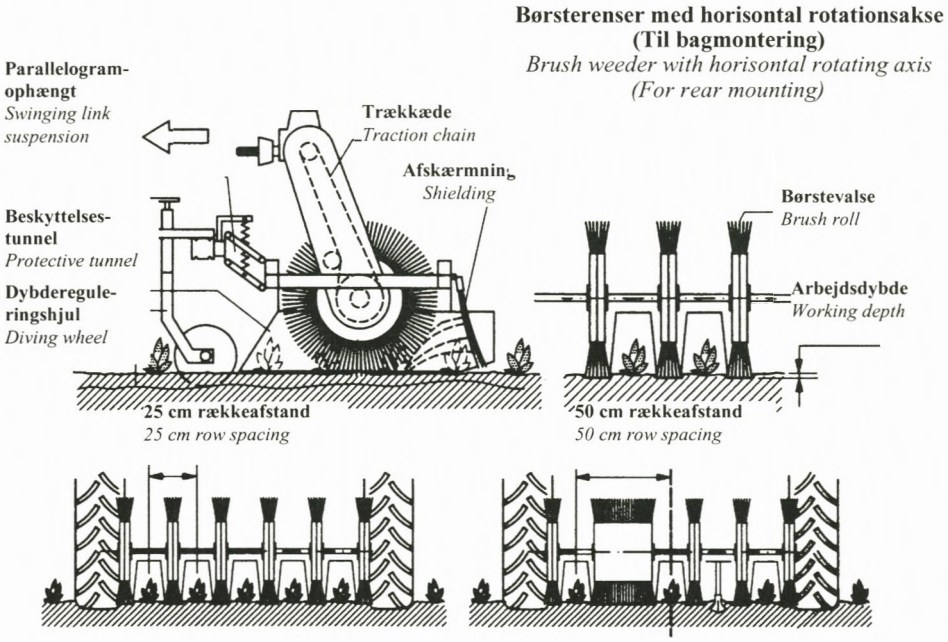
Skærene på en almindelig radrenser kan sidde på en ikke-affjedret tandstilk og vil da mest virke som skuffejern i selve skærets arbejdsbredde. Det betyder, at skærene ikke er selvrensende under kørslen og derfor kun bør anvendes på helt små ukrudtsplanter. Sidder skærene derimod på fjedrende tandstilke, kan de i højere grad rense sig selv. Den fjedrende effekt løsner desuden jorden fra større planters rødder. En væsentlig forskel på gåsefodslapper og V-formede skær er, at gåsefodslappen i højere grad regulerer ukrudtsplanterne ved jordtildækning, hvorimod V-skæret er bedre til underskæring af ukrudtsplanterne, men ved begge skærtyper er jordtildækning og underskæring væsentlige elementer i deres virkningsmekanisme over for ukrudtet (Terpstra og Kouwenhoven, 1981; Weber, 1997; Rasmussen *et al.*, 1998). Generelt opnås de bedste ukrudtseffekter ved almindelig radrensning, når ukrudtet er småt, og vejret efterfølgende er solrigt og blæsende.

Radrensning med roterende renseaggregater
Radrensning med roterende renseaggregater kendes fra de traditionelle rækkeafgrøder. Det drejer sig primært om rækkefræsning og børsterensning med børsterne placeret på en horisontalt roterende aksel (figur 6.2 og 6.3). Begge redskabstyper er PTO-drevne og udmærker sig ved at kunne bekæmpe større ukrudt, også under mere fugtige jordbundsforhold, end almindelig radrensning vil kunne anvendes til (Mattsson *et al.*, 1990; Weber, 1997). Børsterenseren virker primært ved at oprykke ukrudtsplanterne, og særlig kraftigt ukrudt reguleres ved, at bladene afrives, og stænglerne knækkes. Rækkefræseren virker ved en blanding af oprykning, sønderdeling og kraftig jordtildækning. Kørsel på våd, lerholdig jord med høj rotationshastighed på børsterne eller fræserknivene indebærer en betydelig risiko for at ødelægge jordstrukturen. Begge redskabstyper kan ombygges til at operere på 25 cm rækkeafstand (Weber, 1997).

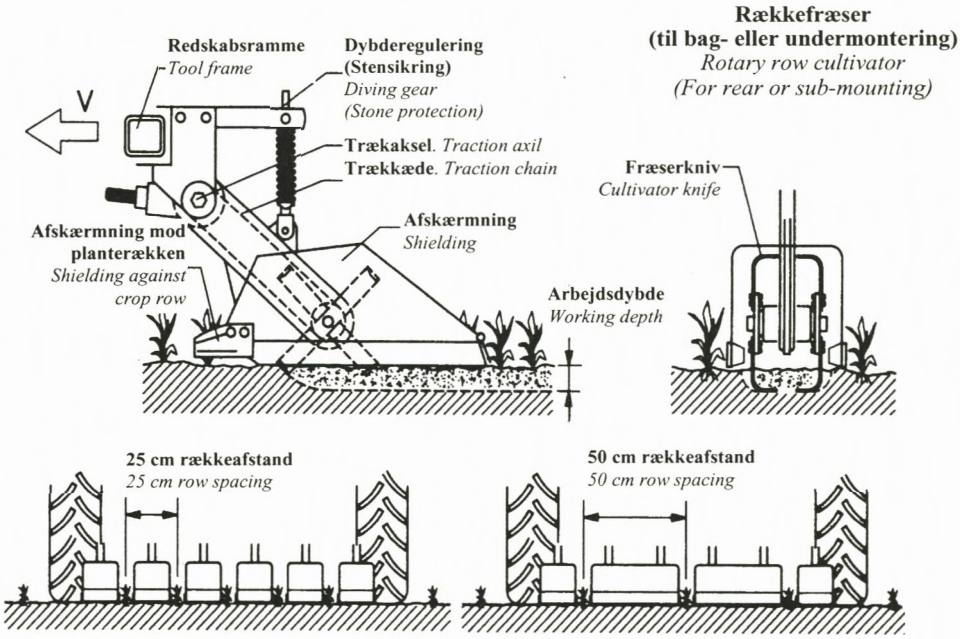
Stjernehjulsradrensning er et andet bekæmpelsesprincip (figur 6.4), hvor også et roterende renseaggregat udøver den ukrudtsbekæmpende funktion. Redskabet er ikke PTO-drevet, men rotationen og hastigheden på renseaggregatet opnås alene ved fremkørselen og stiger i takt med, at kørehastigheden øges. Stjerneradrensning anvendes en del i majs og kartofler, hvor redskabet kan indstilles til at hyppe. Der kræves ret løs jord for at kunne operere tilfredsstillende (Mattsson *et al.*, 1990; Melander *et al.*, 1995). Så vidt vides, er stjerneradrensningsprincippet endnu ikke tilpasset mindre rækkeafstande på 20-30 cm.

Efterredskaber
I en række undersøgelser med almindelig radrensning har ukrudtseffekten kunnet forbedres betydeligt ved at foretage en eller to ukrudtsharvninger umiddelbart efter radrensningen (f.eks. Dierauer og Stöppel, 1994; Irla, 1991; Rasmussen, 1989). Effektforbedringen opstår ved, at især større ukrudt trækkes frem på jordoverfladen, hvor rødderne i nogen grad vil være rystet fri for jord. I svenske forsøg med radrensning i sukkerroer har man med held udnyttet denne viden til at udstyre radrenseren med specialudstyr, således at effekten opnås i én ar-

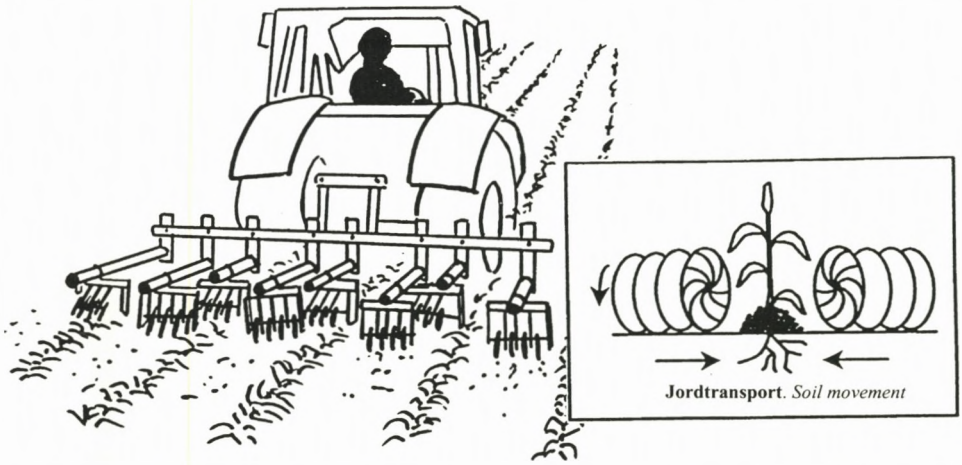
bejdsgang. Bag ved gåsefodslapperne følger vinkelskær til underskæring af større ukrudt. Derefter følger en trykrulle til udjævning af jorden efterfulgt af lange stive fjedertænder til oprykning af ukrudtet, hvilket samlet bevirker, at ukrudtet efterlades på jordoverfladen med mere eller mindre blotlagte rødder. Erfaringerne med udstyret har været gode, idet effekten mod større ukrudt bliver bedre, også under mere fugtige jordbundsforhold (Mattsson og Sandström, 1994).



Figur 6.2. Børsterenser med horisontal roatationsakse. *Brush weeder with horizontal rotating axis. (Adapted from Weber, 1997)*



Figur 6.3. Rækkefræser. *Rotary row cultivator. (Adapted from Weber, 1997)*



Figur 6.4. Stjerneradrenser. *Rolling cultivator. (Illustration, Henny Rasmussen)*

Fordelene ved at bygge flere bekæmpelsesprincipper sammen i samme redskab kendes også fra stjerneradrensning, hvor én eller flere gåsefodslapper er placeret foran det roterende renseaggregat.

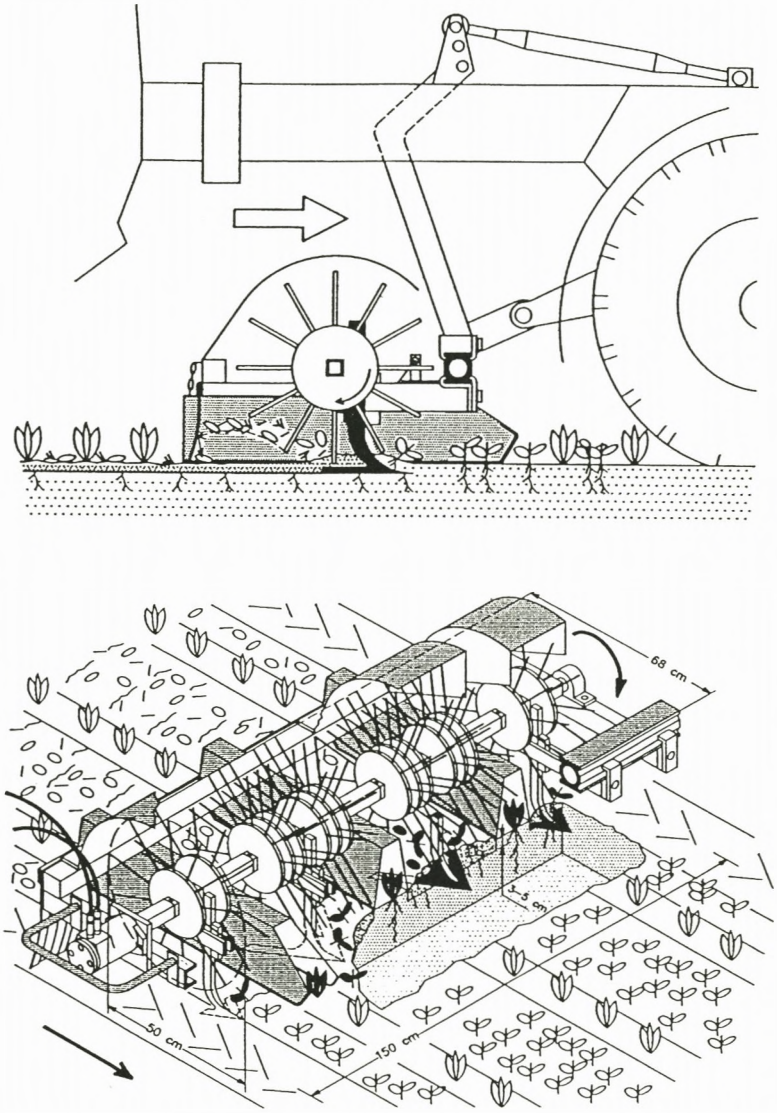
Weber (1997) konstruerede en prototype af et kombinationsredskab, hvor ukrudtet først løsnes med gåsefodslapper, for derefter at blive kastet op på jordoverfladen af et sæt roterende børster, som følger umiddelbart efter gåsefodslapperne (figur 6.5). Børsterne var lavet af stål, og foruden at have evnen til at trække ukrudtet frem på jordoverfladen var børsterne også i stand til at ryste meget af jorden fra rødderne, hvilket fremmer udtørringen. I dette ene redskab var det muligt at samle nogle af de bedste egenskaber fra den almindelige radrenser, børsterenseren med horisontal rotationsakse og rækkefræseren. I praksis kan anvendelsen af sådanne kombinationsredskaber betyde, at det kun vil være nødvendigt med ét redskab på den enkelte bedrift frem for flere redskaber til at klare ukrudtsbekæmpelsen. På større grønsagsbrug i Tyskland er det nemlig ret almindeligt at besidde alle tre redskabstyper for at klare ukrudtsproblemerne i rækkemellemrummene.

Ingen af de ovennævnte kombinationsredskaber har været udviklet til at kunne operere på mindre rækkeafstande som 20-25 cm. Men Johansson (1998) har i svenske forsøg udstyret den almindelige radrenser med forskellige typer efterredskaber til forbedring af ukrudtseffekten i selve rækken ved radrensning i vårsæd, dyrket på 25 cm rækkeafstand. Efterredskabernes primære funktion var at hyppe mere jord ind i kornrækkerne, end gåsefodslappen kunne gøre. Efteredskaberne kunne øge hyppehøjden fra ca. 0,5 cm til maksimalt 2 cm, hvilket bevirkede en forbedring af ukrudtsbekæmpelsen på 10-20% i rækken. Den bedste hyppeeffekt blev opnået med et V-formet stykke fladjern, hvor selve fladen var lodretstillet i forhold til jordoverfladen.

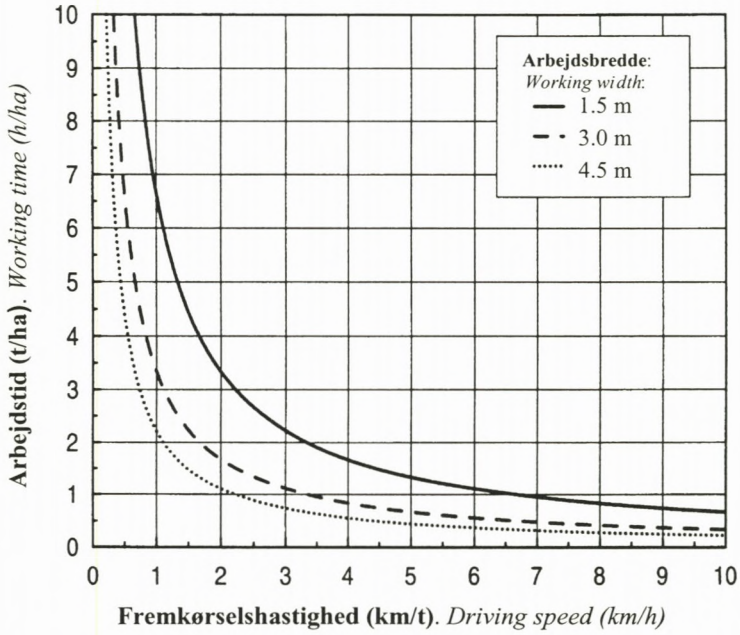
Arbejdskapacitet

Bortset fra stjerneradrensning, er arbejdskapaciteten ved radrensning lav. Arbejdskapaciteten bestemmes af redskabets arbejdsbredde og fremkørselshastighed (figur 6.6). Arbejdsbredden ved almindelig radrensning er som regel beskeden, sammenlignet med arbejdsbredderne på marksprøjter. Fabrikaterne forhandles typisk som 4- til 18-rækkede redskaber, hvilket svarer

til 2-9 m ved en rækkeafstand på 0,5 m. Radrensning med PTO-drevne renseaggregater foregår med endnu mindre arbejdsbredder, maksimalt 6-rækkede, svarende til 3 m ved 0,5 m rækkeafstand.



Figur 6.5. Prototype af et kombiredskab til ukrudtsbekæmpelse mellem rækkerne i rækkeafgrøder udviklet af Hansjörg Weber. *Prototype of a combi-tool for inter row weed control developed by Hansjörg Weber. (Adapted from Weber, 1997)*



Figur 6.6. Sammenhængen mellem arbejdstidsforbruget pr. ha til mekanisk ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrum og stigende fremkørselshastighed, vist for 3 arbejdsbredder. *The relationship between working time per ha of mechanical inter row weed control and increasing driving speed shown for 3 working widths. (Adapted from Weber, 1997)*

Generelt skal PTO-drevne radrensere betragtes som specialredskaber til "nødløsninger" på specialiserede grønsagsbedrifter, hvor de da også kun anvendes (Weber, 1997). Foruden den lave arbejdskapacitet er anskaffelsesprisen for de PTO-drevne redskaber relativt høj, og slitagen og dermed vedligeholdelsesudgifterne kan være betydelige (Mattsson *et al.*, 1990).

Fremkørselshastigheden ved almindelig radrensning ligger typisk på 3-8 km/t og 2-6 km/t for de PTO-drevne redskaber, mens hastigheden ved stjerneradrensning vil ligge omkring 10 km/t (Mattsson *et al.*, 1990; Weber, 1997). Hastigheden er især bestemt af: 1) det anvendte styresystems nøjagtighed, 2) den ønskede renseafstand til rækken, 3) afgrødens udviklingstrin, 4) rækkernes længde, og 5) jordens beskaffenhed (Weber, 1997).

En øgning af kørehastigheden er en nem og oplagt måde at øge arbejdskapaciteten ved radrensning. Pullen og Cowell (1997) har undersøgt, hvorledes forskellige redskabstyper til ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrum opererede under kørehastigheder stigende fra 5,0 km/t til 8,5 og 11 km/t. Den ukrudtsbekæmpende effekt ved radrensning med gåsefodslapper og vinkelskær steg med stigende kørehastighed, men gåsefodslappen gav anledning til en kraftig hypning ved især 11 km/t, som kan være kritisk ved almindelig radrensning på mindre udviklingstrin af afgrøden og ved rensning meget tæt på rækken. De PTO-drevne redskaber (børsterensning og fræsning) klarede sig dårligt ved høje kørehastigheder, fordi ukrudtseffekten faldt med stigende kørehastighed. Ikke overraskende, fungerede stjerneradrenseren godt ved de høje kørehastigheder, men bekæmpelsesprincippet er generelt svagt over for kraftigere ukrudt. Konklusionen på undersøgelsen blev, at almindelig radrensning er velegnet ved høje kørehas-

tigheder, men at der i nogle situationer vil kræves en afskærmning ind mod rækken. Her vil anvendelsen af vinkelskær være en god løsning.

Diskussion

Dyrkning af korn efter rækkedyrkningskonceptet kan generelt betyde, at mekanisk ukrudtsbekæmpelse bliver mere effektiv og sikker, fordi der kan anvendes bekæmpelsesprincipper mod ukrudtsplanterne i rækkemellemrummene af en mere aggressiv karakter end ukrudtsharvning. Almindelig radrensning er en mulighed, men næppe den eneste, for at opnå effektiv ukrudtsbekæmpelse. Andre bekæmpelsesprincipper, såsom roterende børster eller valser, kan også anvendes. En udvikling af disse muligheder savnes imidlertid for bedre at kunne klarlægge, hvilke bekæmpelsesprincipper, og ikke mindst hvilke kombinationer af principper, der vil være mest hensigtsmæssige i forbindelse med ukrudtsbekæmpelse i rækkemellemrum. Her er det også vigtigt at inddrage aspekter vedrørende betydningen af stub- og afgrøderester for redskabernes arbejdsmuligheder, og hvorledes eventuelle problemer kan overvindes. En bedre bekæmpelse af ukrudt i rækken er også et område, som i høj grad kan udvikles. De hidtidige forsøg på at påmontere radrenseren forskellige værktøjer til "i-rækken-bekæmpelse" har kun givet beskedne effektforbedringer.

Radrensning i en afgrøde vil på ingen måde være skånsomt over for afgrøden, hvis renseaggregaterne kommer i direkte kontakt med afgrøden. Præcis og pålidelig styring af redskabet er derfor helt centrale faktorer for gennemførelse af en tilfredsstillende radrensning. På markedet findes der i dag en række udmærkede styresystemer, der ikke kræver en styrmand på radrenseren, men de indebærer alle væsentlige ulemper af forskellig karakter:

- Front- og undermonterede radrensere kræver en betydelig og vedholden koncentrationsevne hos traktorføreren, hvilket kan være svært at opfylde på større arealer.
- Jordrillebaserede systemer har følgende ulemper:
  - det er begrænset, hvor tæt på rækken der kan arbejdes
  - rillen kan viskes væk af regn
  - sten og jordklumper kan forstyrre styresignalerne.
- Automatisk styring ved hjælp af sensor- eller kamerabaserede styresystemer vil være et stort fremskridt inden for radrensningsteknikken, fordi:
  - traktorføreren skal koncentrere sig mindre
  - der kan radrenses tættere på rækken
  - der kan køres med højere kørehastigheder end ved de nuværende systemer.

Især de højere kørehastigheder er vigtige, fordi de kan medvirke til at øge radrensningens arbejdskapacitet. Det vil sandsynligvis være begrænset, hvor meget arbejdskapaciteten kan øges ved at øge arbejdsbredden, fordi arbejdsbredden skal passe til såmaskinens bredde, med mindre det er muligt at udvikle sektionsopdelte radrensere, som kan rense flere såbredder ad gangen. I det hele taget kan arbejdskapaciteten nemt blive den afgørende faktor for, om radrensning i korn, raps og bælgsæd vil få en større udbredelse i praksis. I øjeblikket anses kapaciteten for at være for lav til anvendelse på større arealer.

Konklusion

Almindelig radrensning i rækkedyrkede afgrøder med gåsefodslapper eller V-formede skær kan medvirke til at forbedre ukrudtsbekæmpelsen og sikkerheden i bekæmpelsen, sammenlignet med ukrudtsharvning. Dette vil især være tilfældet i vintersæd, hvor det i mange tilfælde ikke er tilstrækkeligt kun at ukrudtsharve. Bekæmpelseseffekten ved radrensning kan yderligere forbedres, hvis radrenseren udstyres med efterredskaber, som f.eks. strigletænder, roterende børster eller andre redskabstyper. Arbejdskapaciteten ved radrensning er i øjeblikket

for lav til at blive interessant for praktisk anvendelse på større arealer. Automatisk styring samt større kørehastigheder og arbejdsbredder er alle faktorer, som kan hæve kapaciteten betydeligt, men det kræves, at der foretages et stykke udviklingsarbejde.

Referencer

Ascard, J. & Bellinder, M., 1996. Mechanical in-row cultivation in row crops. 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, 1121-1126.

Dierauer, H.U. & Stöppel-Zimmer, H., 1994. Unkrautregulierung ohne Chemie. E.U. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 134 pp.

Irla, E., 1991. Vergleich mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfungsverfahren im Getreide. FAT-Berichte, Tänikon Svejts, 1-11. 25-26.

Mattsson, B. & Sandström, M., 1994. Icke-kemisk bekämpning i stråsäd och oljeväxter. Aktuelt från lantbruksuniversitetet. Mark - Växter, 423, 23 pp.

Mattsson, B., Nylander, C. & Ascard, J., 1990. Comparison of seven inter-row weeders. Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Agrarbiologie, Linz/Donau, 20, 91-107.

Melander, B., 1997. Optimization of the Adjustment of a Vertical Axis Rotary Brush Weeder for Intra-Row Weed Control in Row Crops. Journal of Agricultural Engeneering Research, 68, 39-50.

Melander, B., 1998. Interactions between soil cultivation in darkness, flaming, and brush weeding when used for in-row weed control in vegetables. Biological Horticulture and Agriculture. (In press).

Melander, B. & Hartvig, P., 1995. Weed harrowing in seeded onions. 9th EWRS Symp., Budapest. Challenges for Weed Science in a Changing Europe, 543-549.

Melander, B., Rasmussen, J. & Rasmussen, K., 1995. Ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse – muligheder og begrænsninger i vinterraps og majs. 12. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 123-137.

Pullen, D.W. M. & Cowell, P.A., 1997. An Evaluation of the Performance of Mechanical Weeding Mechanisms for Use in High Speed Inter-Row Weeding of Arable Crops. Journal of Agricultural Engineering Research, 67, 27-34.

Rasmussen J., 1989. Forsøg med ukrudtsharvning og radrensning i korn. – Nordisk Planteværnskonference, 345-354.

Rasmussen J., 1991. A model for prediction of yield response in weed harrowing. Weed Research, 31, 401-408.

Rasmussen J., 1992. Testing harrows for mechanical control of weeds in agricultural crops. Weed Research, 32, 267-274.

Rasmussen J., 1998. Ukrudtsharvning i vinterhvede. 15. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 179-189.

Rasmussen, J. & Pedersen, T. B., 1990. Forsøg med radrensning i korn – rækkeafstand og udsædsmængde. 7. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 187-199.

Rasmussen, J. & Rasmussen, K., 1994. Strategier for mekanisk ukrudtsbekæmpelse i vårsæd. 11. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 149-162.

Rasmussen, J. & Rasmussen, K., 1995. A strategy for mechanical weed control in spring barley. 9th EWRS Symp. "Challenges for Weed Science in a Changing Europe", Budapest, 557-564.

Rasmussen, J. & Svenningsen, T., 1995. Selective Weed Harrowing in Cereals. Biological Agriculture and Horticulture, 12, 29-46.

Rasmussen, J., Lund, I. & Petersen, H., 1997. Hvilken langfingerharve er bedst til korn? 14. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 203-213.

Rasmussen, K. & Petersen, J., 1997. Gødningsplacerings indflydelse på mekanisk ukrudtsbekæmpelse i vårbyg. 14. Danske Planteværnskonference Ukrudt, 193-202.

Rasmussen, K., Melander, B., Rasmussen, J. & Rasmussen, A.I., 1998. Ikke-kemisk ukrudtsregulering. Ukrudtsbekæmpelse i landbruget, Danmarks JordbrugsForskning, 3, 191-212.

Søgaard, H.T., 1996. Automatisk styring af en langfingerharves behandlingsintensitet. 13. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 133-142.

Terpstra, R. & Kouwenhoven, J.K., 1981. Inter-row and intra-row weed control with a hoeridger. Journal of Agricultural Engineering Research, 26, 127-134.

Weber, H., 1997. Geräte- und verfahrentechnische Optimierung der mechanischen Unkratregulierung in Beetkulturen. Dissertation, Institut für Landtechnik der Technischen Universität München, 201 pp.

Welsh, J.P., Bulson, H.A.J., Stopes, C.E., Froud-Williams, R.J. & Murdoch, A.J. (1996). Weed control in organic winter wheat using a spring-tine weeder. Proc. 2nd Int. Weed Control Congress, Copenhagen, 1127-1132.

Wilson, B.J., Wright, K.J. & Butler, R.C., 1993. The effect of different frequencies of harrowing in the autumn or spring on winter wheat, and on the control of *Stellaria media* (L.) vill., *Galium aparine* L. and *Brassica napus* L. Weed Research, 33, 501-506.

Kapitel 7

Rækkestyring

Henning Tangen Søgaard og Hans Jørgen Olsen

I takt med, at landbrugets produktionsmetoder udvikles i retning af større hensyntagen til den omgivende natur, vokser kravet om at kunne behandle stadig mindre produktionsenheder individuelt. Dette gælder for såvel det såkaldt konventionelt drevne landbrug, som for det rendyrket økologiske samt for alle former derimellem.

Inden for planteavlen går udviklingen således mod stadig større forfining med hensyn til de enheder, som kan behandles individuelt. For eksempel er det en velkendt omstændighed, at visse ukrudtsarter ofte vokser i afgrænsede områder af en mark. Metoder til genkendelse af sådan relativt store enheder har ganske længe været under udvikling og afprøvning (Thompson *et al.*, 1992; Stafford og Miller, 1993; Stafford og Benlloch, 1997). I den anden ende af størrelsesskalaen foregår der meget arbejde med det formål at bestemme ukrudtsarter på grundlag af billeder helt ned på kimbladsstadiet. Dette forekommer at være ret vanskeligt, men kan, hvis det lykkes, give mulighed for specifik behandling i ukrudtsbekæmpelsen. (Franz *et al.*, 1991; Shropshire, 1991; Gerhards *et al.*, 1993).

Med hensyn til størrelse befinder planterækker sig ca. midt imellem de to foregående eksempler. Det burde derfor være relativt enkelt at udvikle et system til bestemmelse af position for denne produktionsenhed. Det er normalt ikke nødvendigt at bestemme, hvilken slags planter rækkerne består af, da dette er givet på forhånd. Også her er det, som oftest, en fordel at anvende optiske metoder, hvad enten der anvendes billeder eller en mere specialiseret form for spektral signatur.

Baggrunden for interessen for at kunne detektere og bestemme positionen af planterækker i billeder er ønskeligheden af at kunne styre et redskab automatisk. Det er naturligvis teoretisk muligt at foretage denne styring manuelt, således som det tidligere er sket i forbindelse med radrensning af roer. I dette system blev styringen af traktoren foretaget af én person, mens en anden varetog den finere styring af radrenseren. Ved anvendelse af radrensning i kornafgrøder vil denne metode dog give anledning til visse problemer. For det første bør rækkeafstanden være mindre ved rækkedyrkning af korn, hvilket stiller større krav til styrearbejdet. For det andet vil der sikkert blive tale om større arealer, hvilket yderligere vil øge belastningen på styrepersonen. Endelig er der, for det tredje, omkostningen, bestående af løn til en ekstra person. Denne omkostning må – set over en længere tid – forventes at overstige pris og vedligeholdelsesudgifter for et automatisk system.

Den type og mængde af optisk information, som indsamles, er afhængig af, hvilken anvendelse man har for det færdige resultat. Når det drejer sig om genkendelse af ukrudtsplanter, er information om størrelse, form, farve og tekstur vigtig. Drejer det sig om at finde rækker, og formålet er at styre et redskab i forhold til en række, er de førnævnte faktorer normalt af underordnet interesse. For dette formål er det i højere grad den overordnede geometri – dvs. tilstedeværelsen af ækvidistante, parallelle linier – i billedet, som er vigtig. Man kan dog udmærket tænke sig en anvendelse, hvor man også er interesseret i planternes tilstand – f.eks. mht. sygdomsangreb, næringstilstand o.l. I denne situation kunne de førstnævnte faktorer være interessante.

Da dette kapitel har hovedvægt på genkendelse af og styring efter rækker, er litteraturen specielt gennemsøgt med dette for øje. Der findes således mange artikler med meget interessant information om beslægtede emner inden for tolkning og anvendelse af optiske signaturer fra planter, men denne viden er kun perifert berørt i det følgende.

Teknik

Tanken om at kunne få en traktor eller et redskab til at styre sig selv, er ikke ny. Således gennemgår Gilmour (1960) forskellige muligheder for automatisk styring af traktoren ved forskelligt markarbejde. De omtalte metoder spænder fra simple spor i jorden til anvendelse af radiofyr af – i princippet – samme slags, som anvendes af luft- og skibstrafik.

Når det gælder rækkedyrkning, har forskellige mekaniske styreanordninger været forsøgt anvendt. Således prøvede man for ca. 35 år siden at forsyne såmaskinen med et eller to lodret monterede jern med et torpedoformet legeme i den nederste ende. Under såningen dannede torpedoen et cylindrisk hulrum i jorden på ca. 25 cm dybde. Ved at montere tilsvarende jern i modsvarende positioner på radrenseren burde denne arbejde i samme spor som såmaskinen. Systemet fungerede nogenlunde godt på stivere jordtyper, men ikke helt tilfredsstillende, og det anvendes da heller ikke i dag.

Mekaniske følere til detektering af planterne i en række har ikke haft nogen udbredelse for praktisk anvendelse i Danmark. Problemerne består dels i sikker detektion af små og svage planter og dels i, at strå og løse bladdele hænger fast på følerarmene og inaktiverer disse. Ifølge Rasmussen (1996) anvendes mekaniske følere i USA til detektering af rækker af majs og soyabønner, som har nået en sådan udvikling, at de er tilstrækkelig mekanisk stabile.

Optisk detektering af planter blev tidligt forsøgt ved at anvende belysning fra en tungstenhalogenlampe og måle forholdet mellem synlig og nær-infrarød refleksion fra planterne (Hooper *et al.*, 1976). Det princip, som her blev introduceret med berøringsløs detektion, anvendes i dag af de fleste, som arbejder med sensorer for planterækker eller enkelte planter. Dog anvendes der nu mere eller mindre avancerede videokameraer i forbindelse med digital behandling. Foruden at sensoren (kameraet) kan anbringes beskyttet i sikker afstand fra jord og planter, indebærer denne løsning andre fordele. Eksempelvis kan samme udstyr anvendes både til detektion af planterækker og et rillemønster i jorden samt til at finde og muligvis bestemme arten af enkeltplanter. Forskellen ligger kun i det program, hvormed computeren behandler billederne.

Som påpeget af Marchant og Brivot (1995), er der en typisk forskel mellem at arbejde med billedanalyse inden for industrien og at arbejde med billeder af levende biologisk materiale. Forskellen består i, at man i det sidste tilfælde er nødt til at tage højde for en – ofte betydelig – naturligt betinget variation. Dette betyder, at man må kræve, at de anvendte metoder er meget robuste over for ganske store variationer i billederne.

Gerrish *et al.* (1985) anfører, at det ved en del operationer på billeder er nødvendigt, at de anvendte beregningsenheder har en vis relation til objektstørrelsen i billedet. Set i lyset af ovennævnte biologisk betingede variation, er det forståeligt, at et sådant krav kan indebære betydelige komplikationer, da der ofte ikke findes en fast objektstørrelse i billedet.

Detektion af skillelinier

En særlig form for styreinformation i billeder udgøres af skillelinier mellem f.eks. høstet og ikke-høstet korn eller harvet og uharvet jord. Den interessante information i sådanne billeder

har en vis lighed med billeder af rækker. For tilfældet med en skillelinie er der dog normalt kun én linie i billedet, hvor der for rækker normalt er flere. Problematikken i forbindelse med at lokalisere en skillelinie har dog visse træk tilfælles med lokaliserering af rækker, hvorfor litteraturen herom er medtaget i et vist omfang.

Skillelinier i billedet kan – under visse omstændigheder - fremhæves ved hjælp af en filtreringsteknik. Gerrish *et al.* (1985) anvendte denne teknik, men anfører, at den kan være problematisk ved dårligt definerede grænser. Desuden er teknikken ganske tidskrævende. Brown *et al.* (1990) anvendte en teknik, som ganske enkelt baserede sig på gennemsnitlige differencer i pixlernes intensitetsværdier på de respektive sider af skillelinien.

Segmentering
Mange teknikker til lokalisering af rækker i billeder kræver segmentering. Denne proces indebærer en opdeling af billedet i objekter (rækker) og baggrund. For monokrome intensitetsbilleder betyder dette, at en bestemt intensitetsværdi (tærskelværdi) skal beregnes. Pixler med en højere værdi klassificeres da som række, og de med lavere værdi som baggrund. Denne tærskelværdi er normalt ikke konstant, men afhænger af lysforhold, fugtighed og andre faktorer.

Som en yderligere komplicerende faktor nævner Brivot og Marchant (1996), at intensiteten i billedet af en plante som, ud over at være afhængig af lysforholdene, også beror på plantens fysiske størrelse, uagtet at dens fysiske reflektans er den samme som for en større plante. Denne omstændighed forsøgte disse forfattere dog at anvende på den måde, at de indførte 2 tærskelværdier for at dele billedet op i 3 klasser: Jord, ukrudt og kulturplanter. Det bør herved nævnes, at man her arbejdede med udplantede kulturer, hvorved ukrudtsplanterne med stor sikkerhed kunne antages at være mindre and kulturplanterne. Med denne metode opnåede man 92% korrekt klassifikation for "gode" billeder og 73% for "dårlige", sammenlignet med en manuel klassificering.

Der findes forskellige metoder til at beregne tærskelværdien for et bestemt billede. Således anvendte Reid og Searcy (1988) en statistisk metode, baseret på en Bayes classifier. De fandt, at metoden virkede godt for billeder med en klar bimodal fordeling af billedets intensitetsværdier. For de billeder, som ikke havde denne bimodalitet, krævede metoden et vist *a priori* kendskab til intensitetsfordelingen.

Under anvendelse af farvevideo rapporterer Gerrish *et al.* (1997) om benyttelse af en metode, baseret på fordelingen af rødt, grønt og blåt, for at afgøre, om et objekt skal klassificeres som række eller som baggrund. Systemet blev indledningsvis kalibreret ved, at operatøren udpegede områder med henholdsvis rækker og baggrund. Det anføres, at metoden fungerede fint uden signifikant følsomhed over for skift i den udendørs lysintensitet eller skygger i billedfeltet.

En alternativ metode rapporteres af Billingsley og Schoenfisch (1997). Disse forfattere anvendte en teknik, hvor afgrøden blev antaget at dække en vis procentdel af billedfladen. Metoden var derefter, at operatøren, ved hjælp af billedet på skærmen, justerede tærskelværdien, indtil det fandtes, at afgrøden blev godt separeret fra baggrunden. Ved ændring af lysforholdene justerede systemet derefter tærskelværdien, således at procentdelen af afgrødeplanter var den samme, som oprindelig indstillet af operatøren.

Det bør nævnes, at det ikke er alle metoder for detektering af rækker, som kræver en segmentering af billedet. Således rapporterer Olsen (1995) om en metode, hvor rækkernes position bestemmes udelukkende på grundlag af intensitetsbillederne, som er optagne i det infrarøde spektralområde. Der bliver dog sat spørgsmålstegn ved metodens generelle anvendelighed. Problemerne opstår især, når jordoverfladen (jord-baggrunden) er tør og lys.

Liniedetektering
Linier kan findes ved brug af et skabelonbillede, som overlejres det optagne billede. Denne teknik blev anvendt af Gerrish *et al.* (1985). Ved at forskyde og rotere skabelonbilledet kan den bedst mulige tilpasning findes.

De fleste forfattere har anvendt en eller anden form for akkumulatorteknik for at finde linierne i billedet. Mest anvendt er en mere eller mindre modificeret form for den såkaldte *Hough akkumulator*. Denne udspænder et rum, hvor parametrene for de mulige linier i billedet opsamles. Mulige linier kendetegnes ved, at de går igennem pixler, som repræsenterer planter eller plantedele. De steder i billedet, hvor der er flere sammenfaldende linier, får en høj værdi i akkumulatoren. Når alle "plantepixler" i billedet er gået igennem, findes de steder i akkumulatoren, som har de højeste værdier. Disse steder svarer til linier i billedet, som indeholder mest plantemateriale, og som altså bør være rækker.

For at fremhæve højdeforskellene i akkumulatoren tildeles de parameterværdier, som lades ind i den med ofte forskellig vægt. Vægtningen sker da på grundlag af et kriterium, som siger, hvorvidt det aktuelle billedpunkt stammer fra et interessant sted, som f.eks. en række. Således anvendte Marchant og Brivot (1995) en vægt, baseret på størrelsen af den plante, som fremstod i det segmenterede billede. Denne vægtning medførte, at kulturplanterne, som var størst, fik mere vægt i akkumulatoren end de noget mindre ukrudtsplanter.

Det kan umiddelbart forekomme ret enkelt at finde de steder i akkumulatoren, som har de højeste værdier, men det udgør i praksis et ikke helt trivielt problem. Reid og Searcy (1986) anvendte en metode, baseret på en tærskelværdi, beregnet som en vis procentdel af den maksimale værdi i akkumulatoren. Denne metode medførte dog en del problemer i tilfælde af afbrudte rækker.

Billingsley og Schoenfisch (1997) anvendte en regressionsmetode til at bestemme position og retning af rækkerne. For at begrænse datamængden anvendte man begrænsede områder i billederne – såkaldte vinduer. For at holde rækkerne nogenlunde midt i vinduerne blev disses positioner justeret på grundlag af foregående billeder. For det første billede blev en passende position peget ud af operatøren. Metoden forudsætter, at systemet kan arbejde tilstrækkelig hurtigt til, at rækkerne aldrig forsvinder fuldstændig ud af vinduerne fra ét billede til det næste.

Enhver, der forsøger at finde rækker i en nylig sået mark, hvor afgrøden kun lige er ved at komme op, ved, at man lettere ser rækkerne, hvis man kigger nogenlunde på langs ad dem med blikpunktet 20-30 m fremme. Det samme gælder naturligvis for billeder, optaget med et vist perspektiv. Der findes ofte mulighed for at detektere rækker i sådanne billeder, hvor man ved at rette kameraet ret nedad ikke vil kunne finde planterne. Der er dog et problem ved denne metode, som anført af Marchant og Brivot (1995), idet bestemmelsen af rækkernes position og retning sker med reference i billedfeltet. Hvis man da skal ekstrapolere til kameraets position, kan små fejl i lokaliseringen blive ganske store ved kameraets position.

Styring
Styringen af et redskab i lateral retning, set i forhold til traktorens køreretning, kan ske på flere forskellige måder, som hver har deres fordele og ulemper. Som baggrund for det følgende er der gået ud fra, at afgrøderækkerne er sået i lige linier, og styresystemets opgave er således at holde redskabet på en lige kurs, mens traktoren tillades at gøre små udsving i sideværts retning.

Den mekanisme, som flytter redskabet i sideværts retning, kan udformes lidt forskelligt. For et trepunktsophængt redskab kan sideforskydningen foregå ved, at trækstængerne tvinges lidt til siden ved hjælp af en hydraulisk cylinder. Fordelene ved denne metode er, for det første, at den ikke tager megen plads, og for det andet, at redskabet tenderer mod at blive holdt vinkelret på rækkernes retning, selv om traktorens køreretning afviger fra denne inden for visse grænser.

En anden metode består i at indskyde en ramme mellem traktoren og redskabet. Rammen er todelt, og de to dele kan forskydes i forhold til hinanden. Den ene del – traktordelen – monteres fast på traktoren, mens redskabet monteres på den anden – redskabsdelen. Forskydningen mellem de to dele sker også her ad hydraulisk vej. Fordelen med rammen er, at der normalt er større mulighed for sideforskydning, ofte ca. ±30 cm, end tilfældet vil være ved at tvinge liftarmene. Desuden udgør den en selvstændig enhed, som er uafhængig af traktoren. Ulempen ved rammen er bl.a. dens ganske store vægt. Endvidere findes der her, i modsætning til den foregående metode, ingen tendens til at rette redskabet ind vinkelret på rækkerne, fordi forskydningen sker vinkelret på traktorens længderetning, som ikke altid er helt sammenfaldende med rækkernes.

Endelig er der den mulighed at lade styresignalet dreje redskabets bærehjul eller eventuelt en separat cirkulær styreskive, som trykkes passende ned i jorden. Hvis der er tale om et tungt redskab og en relativt let traktor, eller hvis redskabet er frontmonteret på en traktor med en relativt let forende, kan denne metode være at foretrække. Ved de to foregående, omtalte metoder, overføres styrekræfterne til jorden via traktoren, som derfor skal køre ganske retningsstabilt, hvilket kan tænkes at medføre problemer, hvis traktoren er forsynet med lavtryksgummidæk. Ved styring af bærehjul eller styreskive overføres styrekræfterne derimod direkte til jorden, og traktoren påvirkes i princippet ikke af redskabets styring.

En lidt speciel styring, som i en del tilfælde anvendes i forbindelse med radrensning, består i sporfølgning. Dette har intet med aktiv rækkestyring at gøre, men har sin berettigelse, hvor rækkerne er sået i buer, f.eks. pga. terrænets topografi. For en efterhængt radrenser fungerer systemet således, at en vinkelændring mellem f.eks. topstangen og traktorkroppen overføres passivt til en lille drejning af redskabets styrehjul. Dette styreudslag bevirker, at redskabet bedre holder sig midt for traktorens længdeakse, når denne svinger lidt for at følge buede rækker.

Forskningsindsatsen vedrørende styring efter rækker tager i de fleste tilfælde sigte på automatisk styring af traktoren (eng.: vehicle guidance). På det styringsmæssige område behandler de tilgængelige artikler om emnet typisk problemstillinger som stabilitet, robusthed over for støj (f.eks. fra fejl i rækkedetekteringen) og nøjagtighed. I nedennævnte artikler er styringen baseret på detektering af afgrøderækker vha. digital billedbehandling af billeder, optaget fra et skråt, fremadrettet kamera, monteret på køretøjet.

Billingsley og Schoenfisch (1997) forsøgte sig dels med styring baseret på en stepmotor, der drejede på rattet, og dels med et hydraulisk system, der drejede direkte på de styrende hjul. Ud fra simulationseksperimenter undersøgtes de dynamiske egenskaber ved styresystemerne for derved at kunne indstille systemerne således, at de kunne reagere hurtigst muligt uden at give anledning til ustabilitet (selvsvingsproblemer). De viste sig således, at det var nødvendigt at begrænse den maksimale drejning af de styrende hjul til ca. 3 grader.

Fehr og Gerrish (1995) beskriver opbygningen af et automatisk styringssystem, som blev implementeret på en plænetraktor. Der gives en temmelig detaljeret beskrivelse af anvendte computerarkitektur, videoudstyr, software m.v. Fehr og Gerrish (1995) benyttede en styringsalgoritme, hvor der løbende blev bestemt et kontrolpunkt på den detekterede referencerække i billedet. Hvis dette kontrolpunkt faldt ved siden af den lodrette centerakse i billedet, reagerede styringssystemet ved at dreje de styrende hjul til højre eller venstre, afhængigt af afstand og beliggenhed i forhold til centeraksen. For at undgå, at styresystemet skulle reagere på ubetydelige afvigelser mellem kontrolpunkt og centerakse, blev der indført et dødbånd på ±3 grader. Det vil sige, at afvigelsen skulle tilsige en drejning af hjulene på mere end 3 grader, inden drejningen blev foretaget. Efter fintuning af systemet, blev der målt en tværgående styrenøjagtighed på ±3-4 cm ved 0,6 km/h op til ±7-8 cm ved 9,5 km/h. Styringen viste sig dog at have tendens til ustabilitet ved hastigheder over 4 km/h.

Styringssystemet udviklet af Fehr og Gerrish (1995) blev senere installeret og afprøvet på en moderne traktor i fuld størrelse af Gerrish *et al.* (1997). Styrenøjagtigheden viste sig at være ±5-6 cm ved 4,8 km/h og ±10-11 cm ved 12.9 km/h. Der blev dog observeret en del tilfælde, hvor systemet mistede kontrollen. Gerrish *et al.* (1997) antager, at disse fejltilstande skyldes, at ugunstige forhold mht. belysning og farver har ført til en for dårlig rækkedetektering.

Southall *et al.* (1997) har arbejdet med en metode til samtidig detektering af rækker og kulturplanternes positioner i rækkerne. Metoden er baseret på en model af kulturplanternes indbyrdes placering i en rækkestruktur med nogenlunde konstant afstand mellem planterne i en række. En styrke ved modellen er, at den kan håndtere stokastiske afvigelser fra dette plantemønster, og at der udnyttes information fra en sekvens af billeder, vha. et udvidet Kalmanfilter (extended Kalman Filter). Fordelen ved dette er, at rækkernes/planternes positioner bliver mere sikkert bestemt, og at de estimerede positioner ledsages af et usikkerhedsestimat. Usikkerhedsestimatet kan benyttes i forbindelse med f.eks. ukrudtsbekæmpelse i og imellem rækkerne til at lægge en passende, behandlingsfri sikkerhedsmargin omkring kulturplanterne, jo større usikkerhed des større sikkerhedsmargin. Southall *et al.* (1997) har demonstreret, at metoden giver en mere sikker plantelokalisering end tidligere anvendte metoder, men de har dog endnu ikke benyttet metoden til praktisk styring.

Nøjagtighed

Det er ikke helt trivielt at fastsætte, hvor store krav man må stille til et automatisk styresystem. Der kan yderligere være tale om forskellige typer af krav, som f.eks. sikkerhedsmæssige krav med hensyn til at undgå skader på personer. Der kan f.eks. være tale om krav vedrørende arbejdshastighed, dvs. hvor ofte det er nødvendigt at opdatere styringsinformationen. Endelig findes der krav om, hvor tæt et arbejdsorgan skal gå ind til rækken af kulturplanter. Det sidst nævnte hænger naturligvis sammen med rækkedetekteringens nøjagtighed, men er også koblet til variationen i rækkens bredde og placering.

Baseret på en computersimulering omkring disse krav, konkluderede Choi *et al.* (1990), at det er nødvendigt med mindst 5 cm nøjagtighed i sideværts retning for at klare de fleste arbejder i

marken. I et følgende praktisk forsøg fandt de, at når systemets målefejl var mindre end 5 cm, skulle informationen opdateres for hver 20 cm kørelængde for at holde positionen med en RMS-fejl i lateral retning på maksimum 5 cm.

En endnu større nøjagtighed rapporteres af Billingsley og Schoenfisch (1997). Ved kørsel i marken langs en udlagt hvid tape, holdt traktoren sig inden for et bånd på ±20 mm bredde. Samme forfattere havde 6 systemer udstationeret for praktiske tests hos landmænd. Disses rapporteringer om systemets anvendelighed var overvejende positive. Dog er det interessant at notere, at den detalje, som landmændene ikke syntes om, var den indledende kalibrering, hvor man skulle udpege rækker, respektive baggrund for systemet. Landmændene var generelt meget tilfredse med systemets funktion under selve arbejdet.

Sammenfatning

Generelt kan man sige, at udviklingen er kommet ganske langt inden for området med positionsbestemmelse af planter og rækker ved hjælp af optiske sensorer. Der anvendes en del forskellige teknikker, som hver har deres stærke og svage sider.

Et område, som ikke omtales særlig meget inden for litteraturen, men som ikke desto mindre vil være af stor betydning, er systemernes automatiske tilpasning til varierende lysforhold. Det er kendt, at ikke bare lysintensiteten, men også farvetemperaturen ændrer sig i stor grad fra klart solskin til en enkelt sky for solen til fuldstændigt overskyet. Disse problemer arbejdes der en del med for tiden, selv om der ikke findes nogen stor publikationsmængde inden for området endnu. Dog er dette områdes grundlæggende arbejde rapporteret i Klinker (1993).

Som nævnt i indledningen, går udviklingen imod at kunne detektere enkeltplanter for individuel behandling, hvad enten denne består i applicering af et pesticid eller mekanisk rensning for ukrudt rundt omkring kulturplanten. Således beskriver Southall *et al.* (1998) et system for samtidig lokalisering af enkeltplanter og de rækker, som de er udplantede i. Materialet i denne undersøgelse var udplantede blomkål, og som sådan måske relativt taknemmeligt at arbejde med. Men man kan nok med rimelig sikkerhed antage, at udviklingen, også inden for mere besværlige kulturer, går imod genkendelse af enkeltplanter.

Selv om et fremtidigt system for rækkestyring kan nøjes med et relativt enkelt videokamera, er der for dette projekt, som sensor, valgt et farvevideokamera af ganske avanceret type. Dette er gjort for at have gode muligheder for at kunne teste systemet under mange forskellige lys- og farveforhold. Man har valgt et kamera i stedet for et simplere system, i form af f.eks. et liniearray af fotodioder, fordi konceptet med et array kan testes med et kamera, men ikke omvendt. Desuden indebærer kameraet, som før omtalt, større muligheder for montering i en beskyttet position.

Som grundlag for selve styresystemet er valgt en ramme for sideforskydning. Denne udgør en selvstændig enhed med sit eget elektrohydrauliske system. Dermed er den separat fra traktoren, som ikke behøver nogle modifikationer, ud over at sikre plads til computeren. Ligeledes er styresystemets elektroniske del separat fra billedbehandlingscomputeren, med undtagelse af et kommunikationsinterface. For et praktisk anvendeligt system bør alle elektroniske dele nok bygges sammen, men for et system under udvikling er det en fordel, at logisk separate dele ligger i hver sin elektronik.

Referencer

Billingsley, J. & Schoenfisch, M., 1997. The successful development of a vision guidance system for agriculture. Comput. Electron. Agric., 16, 147-163.

Brivot, R. & Marchant, J.A., 1996. Segmentation of plants and weeds for a presicion crop protection robot using infrared images. IEE Proc. Vision Image and Signal Processing, 143, 118-124.

Brown, N.H., Wilson, J.N. & Wood, H.C., 1990. Image analysis for vision-based agricultural vehicle guidance. ASAE paper, 90-1623, 22 pp.

Choi, C.H., Erbach, D.C. & Smith, R.J., 1990. Navigational tractor guidance system. Trans ASAE, 33, 699-706.

Fehr, B.W. & Gerrish, J.B., 1995. Vision-Guided Row-Crop Follower. Applied Engineering in Agriculture, 11(4), 613-620.

Franz, E., Gebhardt, M.R. & Unklesbay, K.B., 1991. The use of local spectral properties of leaves as an aid for identifying weed seedlings in digital images. Trans ASAE, 34, 682-688.

Gerhards, R., Nabout, A., Sokefeld, M., Kuhbauch, W. & Eldin, H.A.N., 1993. Automatic Identification of 10 Weed Species in Digital Images Using Fourier Descriptors and Shape Parameters. J. Agron. Crop Sci., 171, 321-328.

Gerrish, J.B., Fehr, B.W., Ee, G.R.v. & Welch, D.P., 1997. Self-steering tractor guided by computer-vision. Applied Engineering in Agriculture, 13, 559-563.

Gerrish, J.B., Stockman, G.C., Mann, L. & Hu, G., 1985. Image processing for path-finding in agricultural field operations. ASAE paper, 85-3037, 25 pp.

Gilmour, W.D., 1960. An Automatic Control System for Farm Tractors. J. Agric. Engng. Res., 5, 418-432.

Hooper, A.W., Harries, G.O. & Ambler, B., 1976. A photoelectric sensor for distinguishing between plant material and soil. J. Agric. Engng. Res., 21,145-155.

Klinker, G.J., 1993. A physical Approach to Color Image Understanding. A .K. Peters, Ltd.
Marchant, J.A. & Brivot, R., 1995. Real time tracking of plant rows using a Hough transform. Real Time Imaging, 1, 363-371.

Olsen, H.J., 1995. Determination of row position in small-grain crops by analysis of video images. Comput. Electron. Agric.,12, 147-162.

Rasmussen, J., 1996. Automatisk præcisionsstyring i ukrudtsbekæmpelsen. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, 80.

Reid, J.F. & Searcy, S.W., 1986. Detecting crop rows using the Hough transform. ASAE paper, 86-3042, 20 pp.

Reid, J.F. & Searcy, S.W., 1988. An algorithm for separating guidance information from row crop images. Trans ASAE, 31, 1624-1632.

Shropshire, G.J., 1991. Multi-spectral video imaging for plant identification. ASAE paper, 91-3507.

Southall, B., Marchant, J.A., Hague, T. & Buxton, B.F., 1998. Model based tracking for navigation and segmentation. In manuscript.

Stafford, J.V. & Benlloch, J.V., 1997. Machine-assisted detection of weeds and weed patches. In: Precision Agriculture '97, Stafford, J.V. (edit.), Oxford, UK, BIOS Scientific Publishers, 511-518.

Stafford, J.V. & Miller, P.C.H., 1993. Spatially selective application of herbicide to cereal crops. Comput.Electron.Agric., 9, 217-229.

Thompson, J.F., Stafford, J.V. & Miller, P.C.H., 1992. Potential for automatic weed detection and selective herbicide application. Crop Protection, 10, 254-259.

POSTB. BLAD 7401 HRC 50954
686
Danmarks Jordbrugsforskning
Biblioteket, M. Brendstrup
Flakkebjerg

4200 Slagelse

DJF Foulum

Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Direktion
Direktionssekretariat, Økonomisekretariat

Afdeling for Animalske Fødevarer
Afdeling for Husdyravl og Genetik
Afdeling for Husdyrernæring og Fysiologi
Afdeling for Husdyrsundhed og Velfærd
Afdeling for Jordbrugssystemer
Afdeling for Plantevækst og Jord

Afdeling for Markdrift
Afdeling for Stalddrift
Centrallaboratoriet
Informationsenhed
IT-funktion
Biblioteksfunktion
International Enhed

DJF Årslev

Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev
Tlf. 63 90 43 43. Fax 63 90 43 90

Afdeling for Prydplanter
Afdeling for Vegetabilske Fødevarer
Afdeling for Infrastruktur

DJF Flakkebjerg

Flakkebjerg, 4200 Slagelse
Tlf. 58 11 33 00. Fax 58 11 33 01

Afdeling for Plantebiologi
Afdeling for Plantebeskyttelse
Afdeling for Infrastruktur

DJF Bygholm

Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80

Afdeling for Jordbrugsteknik
Driftsfunktion

Enheder på andre lokaliteter

Afdeling for Sortsafprøvning
Teglværksvej 10, Tystofte
4239 Skælskør
Tlf. 58 16 06 00. Fax 58 16 06 06

Askov Forsøgsstation
Vejenvej 55, 6600 Vejen
Tlf. 75 36 02 77. Fax 75 36 62 77

Bioteknologigruppen
(Afd. f. Plantebiologi)
Thorvaldsensvej 40, 1.
1871 Frederiksberg C
Tlf. 35 28 25 88. Fax 35 28 25 89

Borris Forsøgsstation
Vestergade 46, 6900 Skjern
Tlf. 97 36 62 33. Fax 97 36 65 43

Den Økologiske Forsøgsstation
Rugballegård
Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80

Foulumgård, Postboks 50
8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Jyndevad Forsøgsstation
Flensborgvej 22, 6360 Tinglev
Tlf. 74 64 83 16. Fax 74 64 84 89

Rønhave Forsøgsstation
Hestehave 20, 6400 Sønderborg
Tlf. 74 42 38 97. Fax 74 42 38 94

Silstrup Forsøgsstation
Højmarken 12, 7700 Thisted
Tlf. 97 92 15 88. Fax 97 91 16 96

Tylstrup Forsøgsstation
Forsøgsvej 30, 9382 Tylstrup
Tlf. 98 26 13 99. Fax 98 26 02 11

ISSN 1397-9884