

Cellesprøjtning af ukrudt i majs

Ivar Lund, Svend Christensen, Lars Aalkjær Jensen,
Peter Kryger Jensen, Hans Jørgen Olsen
& Henning Tangen Søgaard

Aarhus Universitet
Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet

Jens Bligaard & Jens Erik Jensen

Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret

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

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

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

Indholdsfortegnelse

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
1.1 BAGGRUND OG FORMÅL	7
1.2 UNDERSØGELSEN	7
1.3 HOVEDKONKLUSIONER	8
1.4 PROJEKTRESULTATER	8
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
1.5 BACKGROUND AND AIMS	13
1.6 THE STUDIES	13
1.7 MAIN CONCLUSIONS	13
1.8 PROJECT RESULTS	14
1 INDLEDNING	17
1.1 BAGGRUND	17
1.2 PROBLEMFOMULERING	19
1.3 ARBEJDSHYPOTESER	19
1.4 FORMÅL	20
1.5 MÅL	20
2 UDVIKLING AF METODE TIL DETEKTERING AF UKRUDT VED HJÆLP AF VISION	21
2.1 BILLEDOPTAGELSE I MAJS	21
2.2 METODE TIL UKRUDTSDETEKTERING	22
3 CELLESPRØJTESYSTEMET	27
3.1 KAMERAER	29
3.2 COMPUTER	30
3.3 MIKROPROCESSOR	30
3.4 SPRØJTEBOM	31
3.5 PROGRAMMERING AF COMPUTERVISIONSYSTEM	31
3.6 DATAOPSAMLING	35
3.7 DEMONSTRATION AF DET INTEGREREDE SYSTEM	38
4 VÆSKEFORSTØVNING OG -FORDELING	41
4.1 INTRODUKTION	41
4.2 METODER	41
4.2.1 Analyse af væskeforstøvning	41
4.2.2 Analyse af væskefordeling	43
4.3 RESULTATER	44
4.3.1 Analyse af væskeforstøvning	44
4.3.2 On/off-regulering af dyseflow	46
4.3.3 Væskefordeling i celler	47

5	BIOLOGISK EFFEKT I CELLER	53
5.1	FORSØGSDESIGN	53
5.1.1	<i>Dokumentation af ukrudtseffekt ved ændret dysehøjde</i>	53
5.1.2	<i>Dokumentation af ukrudtseffekt ved brug af on/off regulerede dyser</i>	54
5.2	DOKUMENTATION AF UKRUDTSEFFEKT	58
5.2.1	<i>Dokumentation af ukrudtseffekt ved ændret dysehøjde</i>	58
5.2.2	<i>Dokumentation af ukrudtseffekt ved brug af on/off regulerede dyser</i>	60
6	ANALYSE AF UKRUDTSBEKÆMPELSE I MAJS	69
6.1	MAJSDYRKNING I DANMARK	69
6.2	NUVÆRENDE HERBICIDFORBRUG I MAJS	70
6.3	ANVENDTE HERBICIDER I MAJS	71
6.4	OMKOSTNINGER TIL UKRUDTSBEKÆMPELSE I MAJS	74
6.5	POTENTIALE VED CELLESPRØJTNING I MAJS	74
7	DISKUSSION	79
8	KONKLUSIONER	83
9	PERSPEKTIVER	85
9.1	FORSKNINGSMÆSSIGE PERSPEKTIVER	85
9.2	ANVENDELSESMÆSSIGE OG ADMINISTRATIVE PERSPEKTIVER	85
	LITTERATURLISTE	89

Forord

Projektet "Cellesprøjtning af ukrudt i majs" er finansieret af Miljøstyrelsens Bekæmpelsesmiddelforskningsprogram og er gennemført i perioden 2006 til 2008. Projektet er udført ved Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet og Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret.

Projektet har været fulgt af følgegruppen for pesticidforskningsprojekter under indsatsområdet "**Natur og Pesticider**", med nedenstående medlemmer:

Jørn Kirkegaard, Miljøstyrelsen
Claus Hansen, Miljøstyrelsen
Jens Erik Jensen, Dansk Landbrugsrådgivning
Nis Schmidt, Dow AgroSciences
Claus Christensen, Dansk Juletræsdyrkerforening
Per Kremmer, Hardi International

Vi vil gerne takke følgegruppen for deres deltagelse og for deres input i projektets forskellige faser.

Endvidere tak til Britt-Ea Jensen, Institut for Jordbrugsteknik, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet for redaktionel assistance.

Ivar Lund, Institut for Jordbrugsteknik, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet
Jens Bligaard, Planteproduktion, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Århus
Svend Christensen, Institut for Jordbrug og Økologi, Det Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
Jens Erik Jensen, Planteproduktion, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Århus
Lars Aalkjær Jensen, Intelligent Systems A/S, Århus
Peter Kryger Jensen, Institut for Plantebeskyttelse og Skadedyr, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet
Hans Jørgen Olsen, Institut for Jordbrugsteknik, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet
Henning Tangen Søgaard, Ingeniørhøjskolen i Århus, Århus

Sammenfatning og konklusioner

I projektet "Cellesprøjtning af ukrudt i majs" blev der opbygget og analyseret et sensorbaseret sprøjtesystem med en integreret enhed for automatisk opsamling af sprøjtetekniske data. Dette sprøjtesystem benævnes cellesprøjtning, idet der udelukkende sprøjtes i de områder eller celler på marken hvor der forekommer ukrudt. Alle øvrige områder, som ikke indeholder ukrudt, sprøjtes således ikke.

Da forekomsten af ukrudt i marken varierer meget og ukrudtet ofte vokser i pletter, vil dette sprøjtesystem bevirke at tabet på markens overflade reduceres markant. Det er med til at reducere potentialet for nedsivning af pesticider til grundvandet. Samtidig har beregninger i projektet vist, at pesticidforbruget mere end halveres.

1.1 Baggrund og formål

Baggrunden for dette projekt er de voksende problemer med at opfylde målsætningen i Pesticidhandlingsplan 2004-2009. Optimering af herbicidvalg, dosering, mekaniske metoder og konventionel sprøjteteknik synes ikke i stand til at modvirke den generelle stigning i behandlingshyppigheden. Det var hovedårsagen til formulering af projektets hypotese, som var at udnytte visionsystemer i forbindelse med sprøjtearbejdet og dermed muliggøre en stedspecifik behandling på decimeterniveau.

Formålet med projektet er at opnå en halvering i herbicidforbruget ved sprøjtning i majs ved kun at sprøjte i definerbare områder omkring ukrudtsplanterne og samtidig undlade at sprøjte i områder, hvor der ikke findes ukrudt. Målet var at undersøge, hvordan sprøjtearbejdet kan tilpasses markens variabilitet i ukrudtsbestand ved regulering af specielle sprøjtesystemer med integrerede visionsystemer, der samtidig muliggør automatisk dataopsamling og sporbarhed af sprøjtearbejdet.

Udover arbejdet med integrering af vision- og sprøjtesystemet blev der også foretaget biologiske effektstudier, således at den praktiske relevans af arbejdet kunne dokumenteres.

1.2 Undersøgelsen

Projektet var organiseret i fem arbejdsopgaver, der tilsammen udgjorde en helhed for systemopbygning, -optimering og dokumentation.

Arbejdet med analyser, udvikling og integrering af vision- og sprøjtesystemet blev gennemført på Aarhus Universitet, Institut for Jordbrugsteknik, mens de biologiske effektstudier blev gennemført på Institut for Plantebeskyttelse og Skadedyr.

Det visionbaserede sprøjtesystem blev udbygget til automatisk dokumentation af den udførte plantebeskyttelse samt forberedt til artsspecifik

ukrudtsidentifikation, hvilket udførtes af Dansk Landbrugsrådgivning og Aarhus Universitet.

1.3 Hovedkonklusioner

Projektet har vist at det ved hjælp af visionbaseret sprøjteteknik er muligt at behandle markens overflade i små celler med et doseringsbehov, der ikke afviger væsentligt fra den dosering, der skal anvendes ved traditionel bredsprøjtning.

De teoretiske analyser har demonstreret, at celledsprøjtning i celler på 0,01 m² har et potentiale for 50-70 procent besparelse af pesticidforbruget.

Reduktionspotentialet stiger med faldende cellestørrelse. Ved en cellestørrelse på 30 x 107 mm stiger potentialet under givne forudsætninger til 80-90 procent i forhold til bredsprøjtning. Det anses dog for at være meget svært at opnå denne høje besparelse i praksis.

Under gode lysforhold kan celledsprøjten operere med hastigheder op til ca. 1 m/s svarende til 3,6 km/time.

Det er i projektet demonstreret, at det er muligt at opbygge et datasamlings-system, der i praksis kan foretage en realtidsdokumentation af en gennemført plantebeskyttelse i kraft af automatisk dataopsamling og -overførsel til en central server.

1.4 Projektresultater

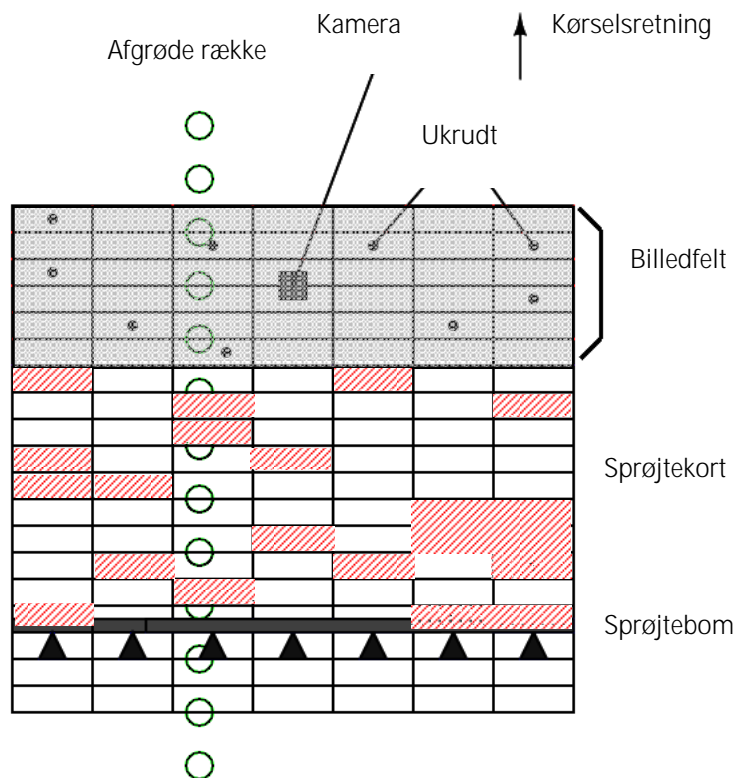
Celledsprøjten er forsynet med et sæt af videokameraer i et visionsystem, der fotograferer markoverfladen umiddelbart foran sprøjtebommen. Det optagne billede analyseres for forekomsten af ukrudt. Når der findes en eller flere ukrudtsplanter i billedet, gemmes oplysninger om de steder, hvor de findes. På dette grundlag kan der fremstilles et lille og meget lokalt sprøjtekort over ukrudtsforekomsten (figur 1).

Billedet opdeles i rektangulære enheder (celler) på 30 mm i køreretningen og 107 mm på tværs. Fordi kameraerne er fastmonterede i forhold til sprøjtebommen, kan cellerne placeres sådan at dyserne – med en vis tidsforsinkelse – kommer til at passere hen over midten af hver celle. De celler, som ligger ved siden af hinanden i et bånd på tværs af kørselsretningen kommer således til at befinde sig under sprøjtebommen samtidigt.

Kameraerne er anbragt i en sådan højde over jorden, at billederne rummer seks celledbånd i køreretningen, hvor hvert bånd indeholder syv celler på tværs af køreretningen svarende til billedfeltet for ét kamera. Hvert billede bliver altså opdelt i $6 \cdot 7 = 42$ celler, som skal analyseres hver for sig.

Der oprettes et meget lokalt og enkelt sprøjtekort som, for hvert kamera, bare indeholder syv værdier - én for hver celle i et bånd. Cellerne analyseres for ukrudt efter hinanden i båndet på tværs af køreretningen. Hvis der detekteres ukrudt, markeres den pågældende celle for senere sprøjtning. I modsat fald sprøjtes cellen ikke.

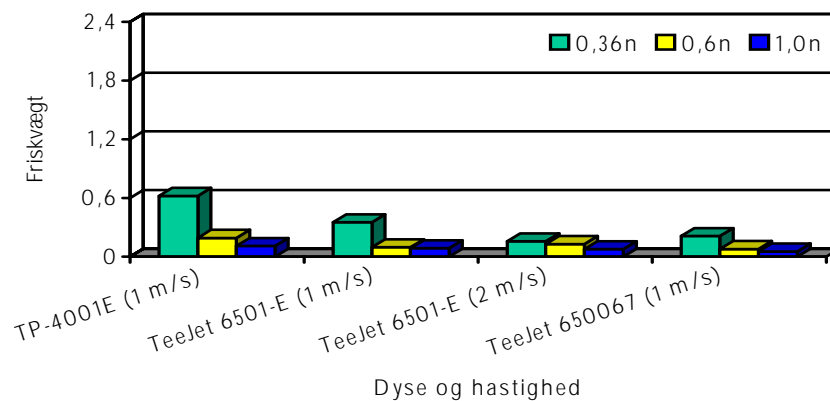
Når programmet er færdig med et cellebånd beregnes hvornår cellebåndet kommer til at befinde sig lige under sprøjtebommen. Denne tid beregnes ud fra hvornår billedet er taget, kørehastigheden og afstanden fra kameraerne til sprøjtebommen samt hvor lang tid billedanalysen har taget. Tiden samt det enkelte sprøjtekort overføres til en mikroprocessor, som derefter varetager den egentlige sprøjtning.



Figur 1. Skematisk fremstilling af celledsprøjtesystemet for ét kamera.

Hvorvidt det i praksis er muligt at sprøjte ukrudt i små celler blev undersøgt ved celledsprøjtning af kamille med Roundup Bio i tre koncentrationer ($n=0,45$ l/ha).

Sprøjtningen blev gennemført i 10 x 10 cm celler ved en fremkørselshastighed på 1 m/s. Resultaterne fra de inderste 8,1 x 8,1 cm er angivet i figur 2. Sprøjtedysen TeeJet 6501-E er tillige testet ved 2 m/s. De fundne værdier svarer til, at der er opnået effekter på 95-98 procent ved den højeste dosering og på 75-95 procent ved den laveste dosering. Der er små forskelle mellem dyserne, og effekten ved 2 m/s har været fuldt på højde med effekten ved 1 m/s.

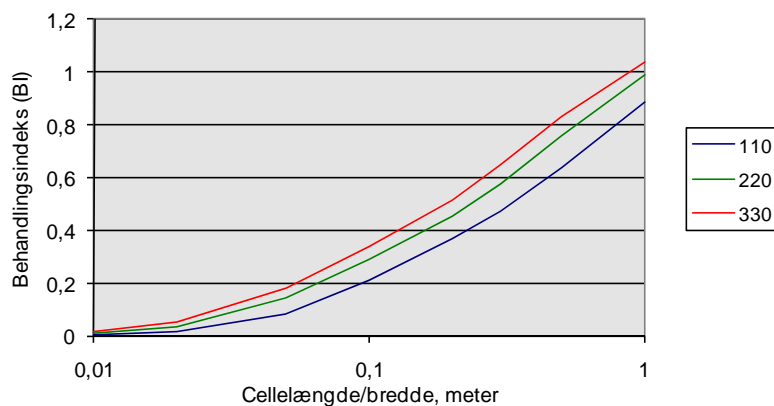


Figur 2. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i tre doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra de inderste $8,1 \times 8,1$ cm. Ubehandlet på samme areal = $2,36$ g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = 0,041$. $LSD_{dos0,6} = 0,089$. $LSD_{dos0,36} = 0,26$.

I de teoretiske beregninger for potentialet for celledsprøjtning i majs blev der opstillet forskellige scenarier.

Behandlingshyppigheden for 2006 var 1,2 og det blev forudsat, at der ved brug af celledsprøjtesystemet sprøjtes tre gange, hver med en indsats svarende til en behandlingshyppighed på 0,4.

Effekten af pletvis forekomst af ukrudt og anvendelse af midler med jordeffekt (residualeffekt) ses i figur 3. Effekten på nyfremspiring i en behandlet celle antages at være på 90 procent. I figuren er vist resultatet fra tre forskellige ukrudtsintensiteter på henholdsvis 110, 220 og 330 ukrudtsplanter pr. m^2 .



Figur 3. Pletvis ukrudtsfordeling. Behandlingsindeks som funktion af cellelængde/bredde ved ukrudtstætheder på 110, 220 og 330 planter pr. m^2 og en residualeffekt af herbicidsprøjtning på nyfremspiring på 90 procent. Kilde: Søgaard, personlig kommunikation.

En kombination af pletvis forekomst og herbicider med residualeffekt reducerer således behandlingsindekset til 0,29, hvilket skal sammenlignes med $BI=0,40$ ved ligelig fordeling af ukrudtet.

Det aktuelle potentiale for metoden skal valideres i markforsøg, men det kan på basis af det ovenstående konkluderes, at celledsprøjtning i celler på 0,01 m² har et potentiale for mindst 50-70 procent besparelse af pesticidforbruget baseret på de givne forudsætninger. Disse beregninger støtter altså en af projektets arbejdshypoteser.

Det udviklede sprøjtesystem er reelt designet med afsæt i en cellestørrelse på 30 x 107 mm, hvilket øger reduktionspotentialet endnu mere. Ved en ukrudtstæthed på 220 planter pr m² i pletvis forekomst og med jordeftekt (residualeffekt) taget med i effektberegningen, viser de ovenstående teoretiske beregninger – baseret på de givne forudsætninger - et besparelsespotentiale i størrelsesordenen 80–90 procent.

Summary and conclusions

A sensor-based spraying system with an integrated unit for automatic sampling of technical spraying data was constructed and analysed in the project "Cell spraying of weeds in maize". This spraying system was named cell spraying because it sprays solely in areas (cells) in the field in which there are weeds. All other areas (cells), that do not contain weeds, are not sprayed.

Since the occurrence of weeds in the field varies significantly and weeds often grow in patches, using this spraying system means that loss on the soil surface will be greatly reduced.

1.5 Background and aims

The background for this project is the challenge of meeting the goals of the National Pesticide Action Plan 2004-2009. Optimisation of herbicide choice, dosage, mechanical methods and conventional spraying techniques do not seem to be able to offset the general increase in treatment frequency.

The aim of the project is to reduce herbicide use in maize by 50 percent by spraying only in areas with weeds. The goal was to investigate how spraying can be adapted to the variations in weed occurrence in the field by use of vision-based spraying systems.

1.6 The studies

The project was organised in five work packages that together created a whole including system construction, optimisation and documentation.

The work involving analysis, development and integration of the vision and spraying system was carried out at the Department of Agricultural Engineering at the University of Aarhus, while the biological efficacy studies were carried out at the University's Department of Integrated Pest Management.

The vision-based spraying system was expanded to include automatic documentation of the plant protection that was carried out, which was carried out by the University of Aarhus and the Danish Agricultural Advisory Services.

1.7 Main conclusions

The project has shown that vision-based spraying technique can treat the surface of the field in small cells with a dosage requirement that does not differ significantly from the dosage used for conventional boom spraying.

Theoretical analyses have shown that spraying cells measuring 0.01 m^2 can potentially reduce pesticide use by 50-70 percent compared to conventional boom spraying.

Under good light conditions the cell sprayer can operate with a forward speed of approximately 1 m/s corresponding to 3.6 km/hour.

The project has shown that it is possible to build up a data sampling system that can document plant protection actions in real time under practical conditions using automatic data collection and transfer to a central server.

1.8 Project results

The cell sprayer has a set of video cameras in a vision system which takes images of the soil surface immediately in front of the spraying boom. The images are analysed for the occurrence of weeds. When one or more weeds are found in the image, the information about their location is saved.

The image is divided into rectangular units (cells) of 30 mm in the driving direction and 107 mm at a right angle to the driving direction. Since the cameras are fixed in relation to the spraying boom, the cells are placed so that the nozzles – with a certain time lapse – pass over the middle of each cell.

The cameras are placed at a height above the soil so that the images include six cell strips in the driving direction and where each strip contains seven cells at right angles to the driving direction. Each image is thus divided in $6 \times 7 = 42$ cells, which are analysed individually.

If weeds are detected, then the cell in question is marked for later spraying. Otherwise, the cell is not sprayed. On the basis of this information a small spraying map is prepared (Figure 4).

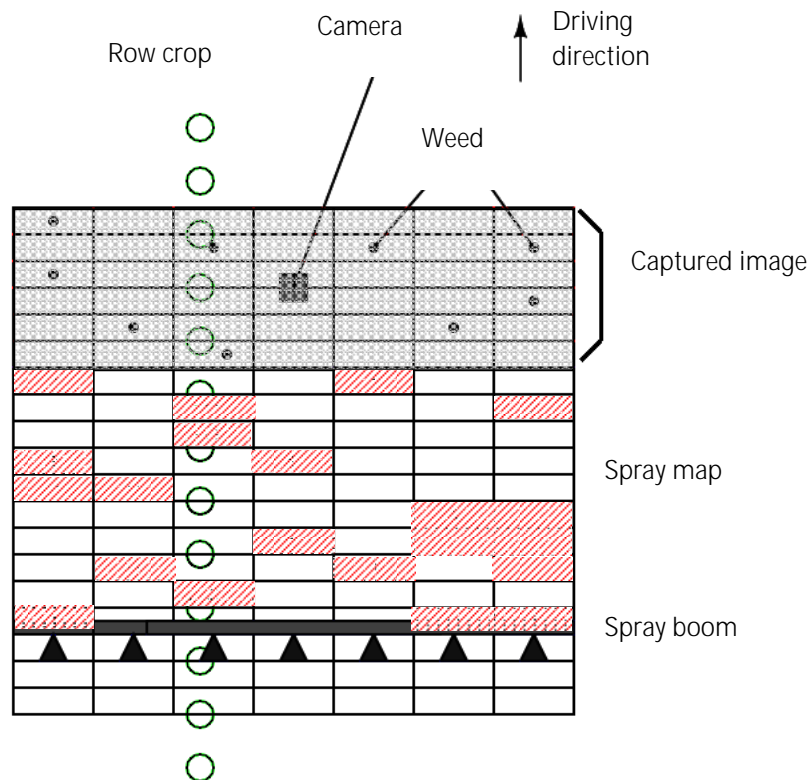


Figure 4. Schematic illustration of the cell spraying system for one camera

How far it is possible to spray against weeds efficiently in small cells was investigated using cell spraying of camomile with Roundup Bio in three concentrations ($n=0,45$ l/ha).

The spraying was carried out in cells measuring 10 x 10 cm and with a driving speed of 1 m/s. The results from the innermost 8.1 x 8.1 cm are shown in Figure 5. The spraying nozzle TeeJet 6501-E was also tested at 2 m/s. The values found correspond to effects of 95-98 percent at the highest dosage and 75-95 percent at the lowest dosage. There were minor differences between the nozzles and the effect at 2 m/s was on equivalent with the effect at 1 m/s.

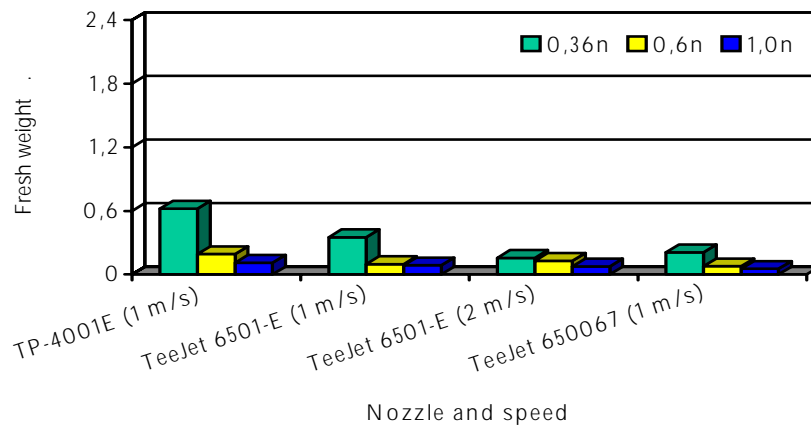


Figure 5. Fresh weight of camomile using cell spraying with Roundup Bio in three dosages ($n=0,45$ l/ha). The results are from the innermost 8.1 x 8.1 cm. Untreated on same area = 2.36 g (length of Y-axis). $LSD_{dos1,0} = 0.041$. $LSD_{dos0,6} = 0.089$. $LSD_{dos0,36} = 0.26$.

Various scenarios were used in connection with the theoretical calculations of the potential for cell spraying in maize.

The actual potential for the method must be validated in field trials but on the basis of the described results it can be concluded that cell spraying in cells measuring 0.01 m² has a potential for a pesticide use reduction of at least 50-70 percent based on the given conditions.

The spraying system was actually developed with a cell size of 30 x 107 mm as a starting point, which increases the potential for reduction even more. With a weed density of 220 plants per m² occurring in patches and a soil effect (residual effect) included in the calculations, the above-mentioned theoretical calculations result in a potential reduction of 80-90 percent.

1 Indledning

1.1 Baggrund

I Pesticidplan 2004-2009 vurderes det, at der også efter år 2009 vil være potentiale for at reducere brugen af pesticider. Behandlingshyppigheden har i årene fra 2002 til 2006 vist en stigende tendens, mens målsætningen for Pesticidplan 2004-2009 er at nedsætte behandlingshyppigheden fra 2,04 i 2002 til 1,7 ved udgangen af 2009. Derfor er der behov for alternative løsninger for at kunne imødekomme fremtidens udfordringer i at kombinere en rentabel produktion med høj fødevarerikkerhed og en minimal påvirkning af den omgivende natur. Et indsatsområde kunne være en sprøjteknologisk udvikling, der sikrer, at pesticiderne tildeles i rette mængde på rette sted, uden at der samtidig sker unødigt tab til det omgivende miljø.

Der har i efterhånden mange år været interesse for at kunne foretage en varieret dosering af pesticider efter et sprøjtekort. Problemet har dog ofte været at få indhentet informationer, der kunne danne baggrund for udfærdigelse af sprøjtekortet, idet der sjældent er tid til denne ekstra arbejdsindsats, inden sprøjtningen foretages. Et godt sprøjteresultat afhænger bl.a. af timing, hvilket er svært at kombinere med en ekstra arbejdsgang i forbindelse med udfærdigelse af sprøjtekortet. Desuden har pesticiderne i mange afgrøder indtil de seneste år været så billige, at det ikke kan betale sig at gennemføre en grundig registrering af ukrudtsproblemerne i marken inden sprøjtningen.

Der er udviklet og anvendt flere forskellige kommercielle systemer til brug for varieret dosering til sprøjtning efter et sprøjtekort (Christensen et al., 2003; Gerhards et al., 2003; Giles, 1999; Miller, 1997), ligesom der har været arbejdet meget med reduktion af tab til omgivelserne i form af vindafdrift. I England er der indført et system, der vægter sprøjtedyserne efter afdriftsrisici (Local Environmental Risk Assessments for Pesticides – Lerap). I Holland er der også indført et lignende system for at hindre forurening af overfladevand (Zande et al., 2002)

Derimod har der internationalt ikke været samme fokus på tab af pesticider på jordoverfladen i forbindelse med pesticidesprøjtninger og specifikt ved ukrudtsbekæmpelse, hvor de største tab på jorden må forventes på grund af ringe afgrødedækning af jorden på bekæmpelsestidspunktet. I pesticidforskningsprojektet "Model based tool for evaluation of exposure and effects of pesticides in surface water" blev der foretaget undersøgelser af afsætningen på jord i 4 markafgrøder (Jensen & Spliid, 2003). I kornafgrøder bidrager afgrøden til plantedækket, og tabet på jord blev her målt til at udgøre ca. 2/3 af det udsprøjtede pesticid. I bederoer udgør afgrødens dækning derimod en ubetydelig andel ved ukrudtssprøjtning, og i undersøgelsen blev der målt tab på jord på op til 99%. Majs indgik ikke i undersøgelsen, men må med den nu anvendte dyrkningsteknik med stor rækkeafstand og tidlig ukrudtssprøjtning antages at bidrage ubetydeligt til den samlede plantedækningsgrad. Tabet ved bredsprøjtning i majs må derfor forventes at være over 95%.

På Aarhus Universitet, Institut for Jordbrugsteknik er der tidligere gennemført forskningsprojekter, hvor visiongenkendelse af planter i marken har været central. I projektet Rækkedyrkningsystem II, rækkestyring (1997-2001) blev der på Institut for Jordbrugsteknik udviklet et visionbaseret system til styring af redskaber, fx radensere og båndsprøjter, i forhold til afgrøderækker (Søgaard & Olsen, 2003). Styrenøjagtigheden lå inden for en til to cm.

I projektet "Udvikling af autonom platform og informationssystem til registrering af afgrøde og ukrudt" (API, 2001-2003) blev der arbejdet med visionregistrering af ukrudt og afgrøde på to niveauer. Dels blev der udviklet en metode til registrering af generel ukrudtsforekomst i kornafgrøder med henblik på at kvantificere konkurrenceforholdet mellem afgrøde og ukrudt (Olsen, 2006), og dels blev der udviklet en metode til artsklassificering af ukrudtsplanter på kimbladsstadiet (Søgaard, 2005). Viden fra API projektet er anvendt som grundlag for udvikling af en metode til registrering og analyse af ukrudt i majs.

I projektet Robotbaseret ukrudtsbekæmpelse (RoboWeed, 2002-2006) er der bl.a. blevet arbejdet med visiongenkendelse og sprøjtning af enkeltplanter. Det visionstyrede sprøjtekoncept udviklet i dette projekt kan ikke direkte anvendes i nærværende projekt, da det forudsætter lav fremkørselshastighed (< 0,7 km/t) bl.a. på grund af den høje præcision (behandlingsenheder på 5 × 5 mm). Viden fra RoboWeed projektet vedrørende integration af visionsystem og sprøjtesystem bliver dog udnyttet i nærværende projekt.

På Aarhus Universitet, Institut for Plantebeskyttelse og Skadedyr er gennemført et projekt vedrørende optisk detektering og sprøjtning af ukrudt på banestrækninger (Heisel & Christensen, 1999). Arbejdet har siden resulteret i en færdigudviklet sprøjtetrolje, som er i stand til at foretage en målrettet ukrudtsbekæmpelse med en hastighed på op til 45 km/t (www.banedanmark.dk). Systemet registrerer og behandler ukrudt i zoner på 120 × 30 cm. Fra dette projekt inddrages viden om integration af realtids ukrudtsregistrering og sprøjtning ved høj hastighed.

I USA er der udviklet et sensorbaseret system, Weed Seeker (www.ntechindustries.com), til bl.a. sprøjtebekæmpelse af ukrudt imellem afgrøderækker. Hver enhed i dette system har en sensor til registrering af ukrudt og en tilsvarende sprøjtedyse til behandling af registreret ukrudt. Et fuldt system vil typisk bestå af flere sådanne enheder monteret parallelt på en bom eller lignende. En enkelt enhed dækker en arbejdsbredde på ca. 30 cm. I fald sensoren detekterer grøn vegetation inden for sit 30 cm brede synsfelt, åbnes der for en sprøjtedyse, der dækker samme arbejdsbredde.

På Silsoe Research Institute er der udviklet et visionstyret sprøjtesystem, der fremføres af en selvkørende markrobot (Hague et al., 2002). Systemet kan operere på arealer med udplantede blomkål og kan selektivt sprøjte blomkål og ukrudt med få centimeters nøjagtighed. Forudsætningen for, at visionsystemet kan skelne mellem blomkål og ukrudt, er imidlertid, at blomkålsplanterne generelt er større end ukrudtsplanterne, og at de er udplantet i et fast og genkendeligt todimensionalt mønster. Systemets virkemåde er således baseret på forudsætninger, som ikke er opfyldt ved sprøjtning i majs.

Tian (2002) beskriver et forsøg med visionbaseret sprøjteteknologi i sojabønner og majs, men præcisionen og besparelspotentialerne var langt

mindre end for det system, som beskrives i dette projekt, idet ukrudtsregistreringen og sprøjtningen blev udført i behandlingsenheder på 51 × 61 cm.

I projektet Agrobots (2005-2006) blev der udviklet en robotplatform med vision til bestemmelse af ukrudtspletter i korn samt styringsenheder for regulering af sprøjteenheden.

Med introduktionen af Dansk Markdatabase (Bligaard, 2004) er der fremkommet en række muligheder for at kunne dokumentere og udnytte GIS-baserede markdata. Dansk Markdatabase er grundlæggende et centralt internetarkiv baseret på en SQL-server, hvor landmanden kan opbevare ejendommens markdata på en struktureret måde. I tilknytning til databasen er der udviklet en stribe applikationer, der gør det muligt for landmanden at tilgå og sammenstille data, eksempelvis i forbindelse med udarbejdelse af den lovpligtige sprøjtejournale. Ultimo 2007 er der således ajourførte mark- og afgrødeoplysninger for ca. en mio. ha i Dansk Markdatabase.

I nærværende projekt er der specifikt arbejdet med visionbaseret sprøjteteknologi med automatisk overførsel af markregistreringer til dansk markdatabase i forbindelse med ukrudtssprøjtning i majsmarker. Arealet med majs er steget fra 60.000 ha i år 2000 til 135.000 ha i år 2005. Dette svarer til 6 % af det samlede landbrugsareal. Udgifterne til sprøjtning af ukrudt i majs er ca. 8 gange større end udgifterne til sprøjtning i korn, hvilket forventes at øge landmændenes interesse for at anvende nye teknologier, der både reducerer omkostningerne og behandlingsindekset.

1.2 Problemformulering

Behandlingshyppigheden stiger - stik mod det forventede og ønskede. Pesticidplan 2004-2009 har som målsætning at nedsætte antallet af behandlinger til 1,7 ved udgangen af 2009, men i stedet er behandlingshyppigheden steget siden 2002.

Optimering af herbicidvalg, dosering, mekaniske metoder og konventionel sprøjteteknik har ikke modvirket den generelle stigning i behandlingshyppighed.

1.3 Arbejdshypoteser

Der er behov for nytænkning og et teknologispring, hvis pesticidhandlingsplanens målsætninger skal fastholdes.

Vores hypotese er, at det er muligt at foretage en visionbaseret, stedspecifik sprøjtning af felter med ukrudtsplanter og tilsvarende undlade at sprøjte markens overflade i områder uden ukrudt. Dette vil reducere forbruget af pesticider samtidig med, at den biologiske effekt opretholdes, og unødigt tab til jordoverfladen reduceres.

Det er også vores hypotese, at det er muligt at foretage en dokumentation af produktionsprocessen ved automatisk dataoverførsel og dermed sikre en effektiv sporbarhed.

1.4 Formål

Det er projektets formål at udvikle teknologi, der kan reducere forbruget af herbicider med mindst 50 % ved sprøjtning i majs, sammenlignet med den mængde, der anvendes ved konventionel sprøjteteknik.

1.5 Mål

Projektets mål er at undersøge, hvordan sprøjtearbejdet kan tilpasses den stedspecifikke ukrudtsvariabilitet på decimeterniveau ved on/off regulering af specielle sprøjtesystemer, der opbygges af kommercielt tilgængelige komponenter.

Det er ligeledes målet at etablere et system med en effektiv sporbarhed ved hjælp af GPS-positionering og logning af de aktuelle sprøjtetekniske parametre.

2 Udvikling af metode til detektering af ukrudt ved hjælp af vision

Da der ikke allerede findes metoder, software eller udstyr, der direkte kan anvendes til detektering af ukrudt i majs med henblik på ukrudtssprøjtning på decimeterniveau, har det i dette projekt været nødvendigt at udvikle metoder og software til denne opgave.

Vi har valgt at detektere ukrudtet ved hjælp af et computervision-system, dvs. et system bestående af kameraer, der er forbundet til et computersystem med digital billedbehandlingssoftware installeret. Systemet opbygges således, at kameraerne løbende optager billeder af markoverfladen foran sprøjtesystemet. Disse billeder sendes til computeren, der ved hjælp af billedbehandlingssoftwaren finder frem til de felter på markoverfladen, hvor der forekommer ukrudt. Computeren sørger herefter for at aktivere de relevante sprøjtedyser, så ukrudtet bliver sprøjtet.

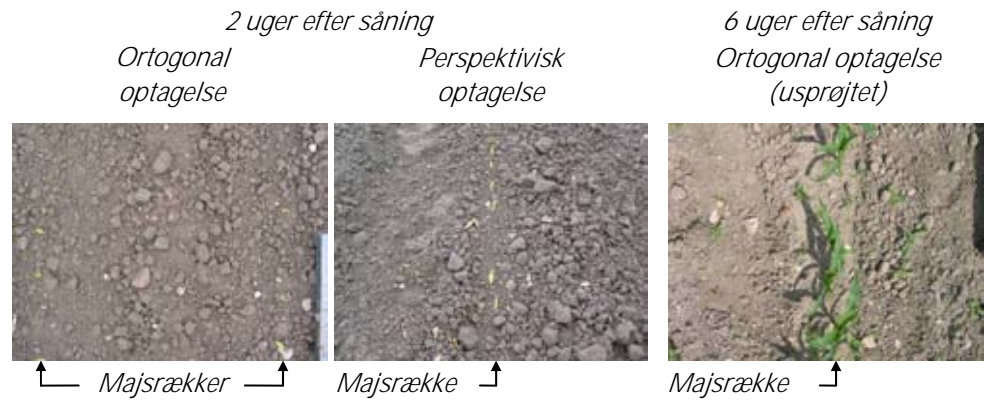
2.1 Billedoptagelse i majs

Udviklingen af en metode til ukrudtsdetektering i majs er baseret på billeder taget i tre konventionelt drevne majsmarker. Værterne for disse billedoptagelser blev udpeget af Dansk Landbrugsrådgivning. Optagelserne blev foretaget i maj og juni 2006.

Billederne blev taget på seks forskellige dage over en fire ugers periode fra to til seks uger efter såning, hvor majsplanterne udviklede sig fra en højde på 2-4 cm til en højde på 10-30 cm. Første optagelse skete før første ukrudtssprøjtning, medens senere optagelser skete på såvel sprøjtede som usprøjtede parceller. Ved at optage billeder fra både sprøjtede og usprøjtede parceller opnåede vi et vidtspændende datamateriale, hvad angår ukrudtstæthed.

Der blev både optaget billeder med kameraet rettet lodret ned mod jordoverfladen (ortogonale optagelser) og med kameraet rettet i en skrå vinkel ned mod jordoverfladen (perspektiviske optagelser, sigteretning 48° fra lodret). De ortogonale optagelser udgjorde det primære datamateriale, men på de tidligste optagetidspunkter var majsplanterne svære at se lodret ovenfra pga. deres ringe vandrette udbredelse. Derfor blev der også lavet perspektiviske optagelser, hvor majsplanterne fremtrådte tydeligere pga. af deres højde.

Ved udgangen af juni var der optaget ca. 600 billeder repræsenterende varierende vækststadier af majs og varierende ukrudtstæthed. Figur 6 viser tre billedeksempler, hvoraf to er taget to uger efter såning, og det tredje er taget seks uger efter såning.



Figur 6. Farvebillede optaget i majs på henholdsvis et tidligt udviklingstrin (de to billeder til venstre) og et senere udviklingstrin (billedet til højre).

2.2 Metode til ukrudtsdetektering

Der er udviklet en metode til detektering af ukrudt i majs baseret på digitale farvebilleder taget med kameraet rettet lodret ned mod jordoverfladen (ortogonale optagelser). Metoden er baseret på tidligere arbejder vedrørende detektering af ukrudt i korn og sukkerroer (Søgaard & Olsen, 2003; Søgaard, 2005). Metoden forløber i følgende trin:

1. Billedet modtages fra kameraet
2. Grøn vegetation i billedet (afgrøde og ukrudt) fremhæves vha. en lineær farvekontrast baseret på den røde, grønne og blå farveintensitet i hver pixel: $2 \times \text{grønintensitet} - \text{blåintensitet} - \text{rødintensitet}$ (Søgaard & Olsen, 2003).
3. Billedet segmenteres, ved at pixels, for hvilke den lineære farvekontrast overstiger en given tærskelværdi, klassificeres som pixels indeholdende grøn vegetation.
4. Rækken (eller rækkerne) af afgrødeplanter i billedet fastlægges og rækkens (rækkernes) midterlinie(r) bestemmes (Søgaard & Olsen, 2003).
5. Grøn vegetation, der rører rækkerlinien/-linierne klassificeres som afgrødeblade, mens øvrig grøn vegetation antages at være ukrudt, herefter benævnt 'detekteret ukrudt'.
6. Der indlægges et rektangulært netværk i billedet med given cellestørrelse, fx 3×10 cm henholdsvis på langs og tværs af kørselsretningen. I hver celle i netværket estimeres den arealmæssige ukrudtsdækning.
7. De celler, i hvilke den estimerede ukrudtsdækning overskrider en indstillet tærskelværdi, fx 25 mm^2 , markeres med henblik på sprøjtning.

Ved tidlige sprøjtninger, hvor majsplanterne har en ringe arealmæssig dækning af jordoverfladen, vil det være hensigtsmæssigt at udelade trin 4 og 5, således at al grøn vegetation opfattes som ukrudt, der skal sprøjtes. Ved brug af trin 4 og 5 vil der nemlig være en stor risiko for, at ukrudt inde i majsrækken fejlagtigt klassificeres som majs og dermed ikke vil udløse en sprøjtning. Dette vil ikke være hensigtsmæssigt, da det er vigtigt, at alt ukrudt sprøjtes, når majsene er på dette tidlige vækststadium. Senere i vækstforløbet, hvor majsplanterne dækker en større del af jordoverfladen, vil det derimod

være relevant at benytte trin 4 og 5 og dermed undgå at sprøjte majs, så forbruget af sprøjtemiddel minimeres. Et forhold, som taler for sprøjtning i afgrøderækken er, at det er de ukrudtsplanter, som er tættest på afgrødeplanterne, som har størst konkurrenceevne over for afgrøden og dermed er mest uønskede i marken.

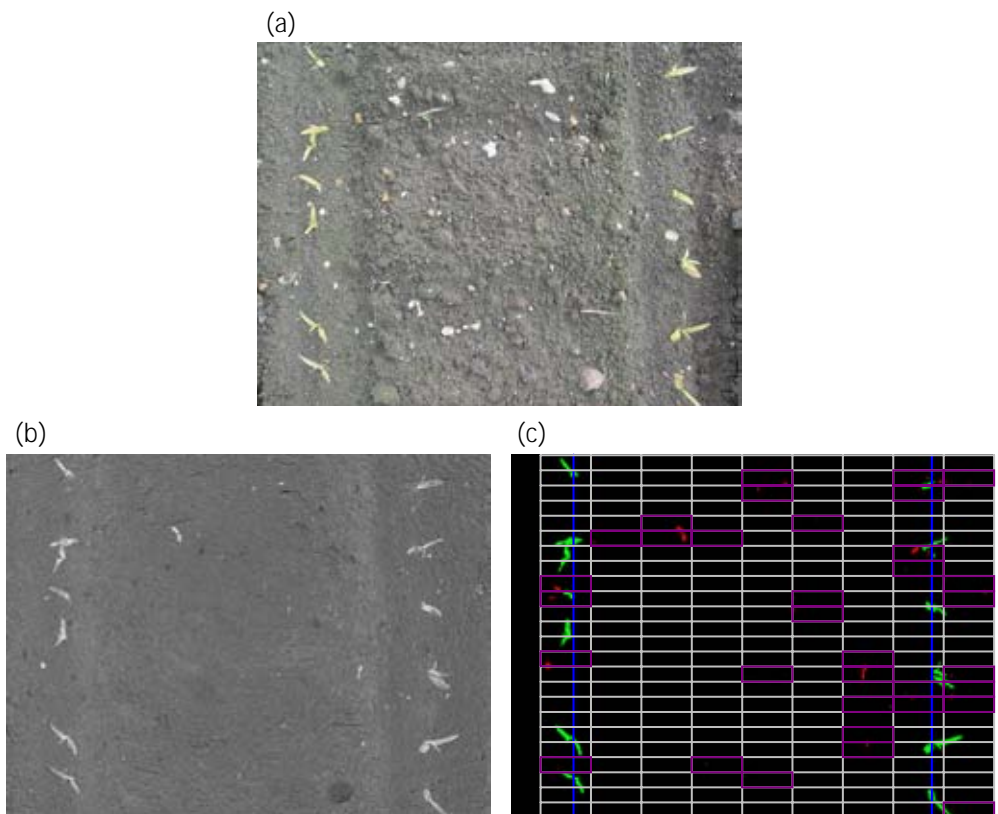
Der er to ydertilfælde, hvor det kan være umuligt at fastlægge majsrækkerne via trin 4. Det ene tilfælde er, hvis der er en dårlig fremspiring af majs på det pågældende sted i marken. Det andet tilfælde er, hvis ukrudtstætheden er så høj, at en meget stor procentdel af billedet er grønt, og rækkerne dermed ikke fremstår tydeligt. I begge disse tilfælde vil strategien være at opfatte al grøn vegetation som ukrudt, der skal sprøjtes, da man derved opnår den sikreste ukrudtsbekæmpelse.

Ved en indledende billedbehandling blev det konstateret, at det var muligt at fastlægge majsrækkerne i alle ortogonalt optagne billeder; både i billederne fra det tidligste udviklingstrin (ex figur 6 t.v.), hvor majsplanterne havde en ringe arealmæssig dækning af jordoverfladen, og i billederne fra senere udviklingstrin, hvor ukrudtstætheden i de usprøjtede parceller var høj (ex figur 7). Dermed kan det konkluderes, at kameraet i det endelige sprøjtesystem kan monteres, så billederne optages ortogonalt. Det er en klar fordel, da perspektiviske optagelser med et skråtstillet kamera ville indebære, at der skulle indføres ekstra beregninger i billedbehandlingssoftwaren, der skulle foretage en geometrisk perspektivopretning, hvilket ville betyde en lavere fremkørselshastighed.



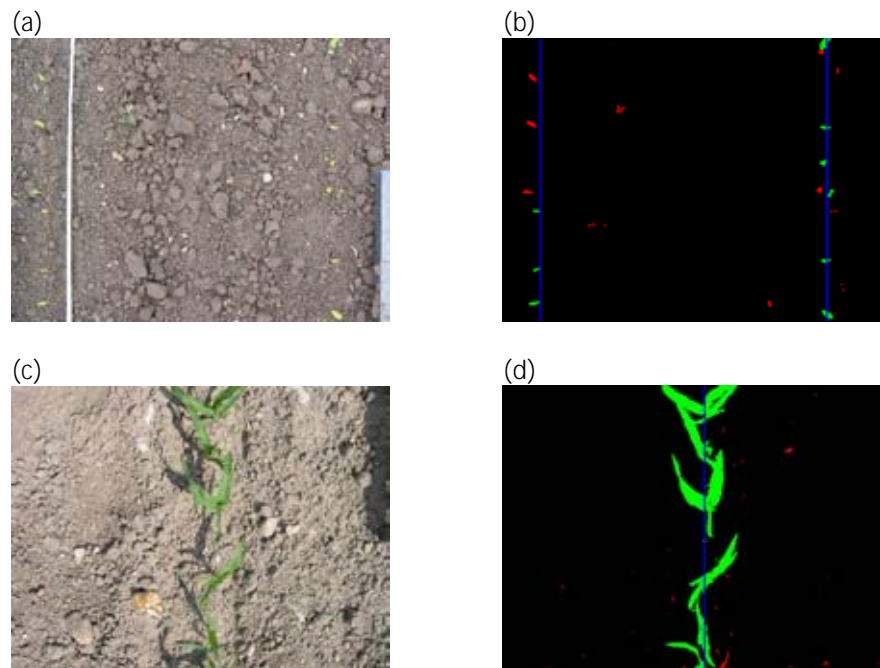
Figur 7. Eksempel på række linier (lodrette blå linier) detekteret i billede med stor ukrudtstæthed.

I figur 8 er vist et eksempel på resultater, der opnås ved anvendelse af den digitale billedbehandlingsprocedure. Det fremgår heraf, at proceduren detekterer en del små ukrudtsplanter, som det umiddelbart er vanskeligt at få øje på i det optagne farvebillede. Desuden ses enkelte eksempler på fejlklassificering, dvs. ukrudt klassificeres som majs og omvendt. Mht. markering af celler til sprøjtning ses, at en enkelt ukrudtsplante i visse tilfælde kan give anledning til sprøjtning af to celler.



Figur 8. Eksempel på digital billedbehandling af billede ifølge de 7 trin i den beskrevne procedure. (a) Det modtagne farvebillede fra kameraet (trin 1). (b) Lineær farvekontrastbillede, der fremhæver grøn vegetation som lyst (trin 2). (c) Segmenteret billede med detekteret ukrudt og majsblade fremhævet med henholdsvis rødt og grønt (trin 3); de lodrette blå linier angiver de detekterede rækkelinier (trin 4 og 5); de lyse lodrette og vandrette linier angiver det indlagte rektangulære netværk (trin 6); de violette rektangler angiver netværksceller markeret til sprøjtning.

Figur 9 viser eksempler på rækkebaseret diskriminering på et tidligt og et senere udviklingstrin af majs. Som det fremgår er der på det tidlige udviklingstrin væsentlig risiko for at fejlklassificere majsplanterne og derved gå glip af en mulig sprøjtemiddelbesparelse. Samtidig er der ukrudt inde i rækkerne, der fejlklassificeres som majs og derfor ikke bliver sprøjtet. Ud fra disse iagttagelser kan der være argumenter for at undlade at forsøge at diskriminere mellem ukrudt og majs på det tidlige udviklingstrin og i stedet sprøjte al grøn vegetation. En yderligere fordel ved dette er, at der derved bliver sprøjtet forebyggende mod ukrudt omkring majsplanterne. På senere udviklingstrin (figur 9c og 9d) vil sprøjtning af alt grønt derimod føre til kontinuerlig sprøjtning af hele majsrækken, dvs. en stribe på en til to måske nogle steder op til tre sprøjtecellers bredde (10-30 cm). Derfor kan det i sådanne tilfælde være mere hensigtsmæssigt at foretage en rækkebaseret diskriminering mellem majs og ukrudt for at spare ukrudtsmiddel.

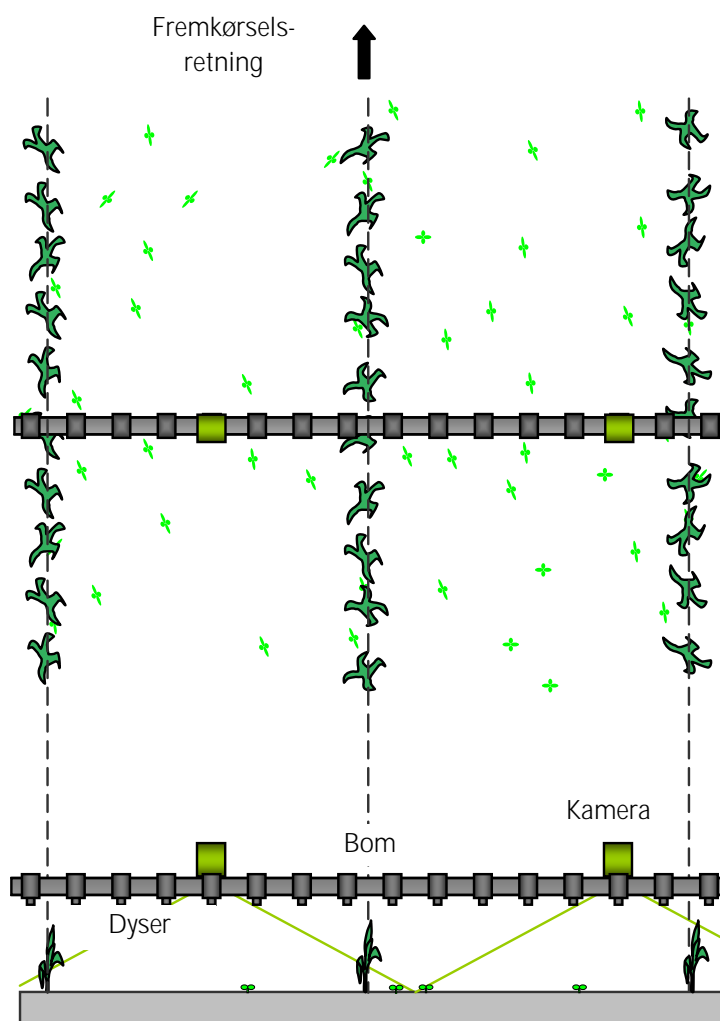


Figur 9. Eksempler på rækkebaseret diskriminering mellem ukrudt og majs. (a) Majs på tidligt udviklingstrin. (b) Detekteret ukrudt (rødt) og majs (grønt) svarende til billede (a). (c) Majs på senere udviklingstrin. (d) Detekteret ukrudt (rødt) og majs (grønt) svarende til billede (c). De lodrette blå linier er detekterede række linier.

3 Cellesprøjtesystemet

I projektet opbygges og analyseres et reeltids visionbaseret sprøjtesystem med en integreret enhed til automatisk opsamling af sprøjte tekniske data. Dette sprøjtesystem benævnes cellesprøjte, idet der udelukkende sprøjtes i de områder eller celler på marken, hvor der forekommer ukrudt. Alle områder uden ukrudt sprøjtes således ikke. En principskitse af cellesprøjtesystemet er vist i figur 10.

Cellesprøjten er forsynet med et sæt videokameraer i et visionsystem, der fotograferer markoverfladen umiddelbart foran sprøjtebommen. Det optagne billede analyseres for forekomsten af ukrudt. Når der findes en eller flere ukrudtsplanter i billedet, gemmes oplysninger om de steder, hvor de findes. Det kan udtrykkes således, at der fremstilles et lille og meget lokalt sprøjtekort over ukrudtsforekomsten.



Figur 10. Principskitse af visionbaseret cellesprøjte. (■ angiver sprøjtede celler)

Til hvert kamera hører en applikationsenhed bestående af sprøjtedyser, som er monteret på en bom. Dette er specielt ved at dyserne sidder med ret kort indbyrdes afstand, og at bommen er monteret relativt tæt på jordoverfladen. Spredeviften fra hver dyse dækker en ganske kort afstand på jordoverfladen set på tværs af køreretningen. Yderligere er hver dyse forsynet med sin egen magnetventil, således at de kan aktiveres individuelt og i ganske korte tidsintervaller. Dette betyder, at en bestemt dyse kan aktiveres, netop når den befinder sig over det lille areal (sprøjtecelle), hvor der ifølge det før omtalte lokale sprøjtekort vokser en ukrudtsplante. Denne bliver derfor behandlet, mens de naboceller, som ikke indeholder ukrudt, ikke bliver sprøjtet. Størrelsen af disse celler er, for det aktuelle design, 107 mm på tværs af og 30 mm i køreretningen.

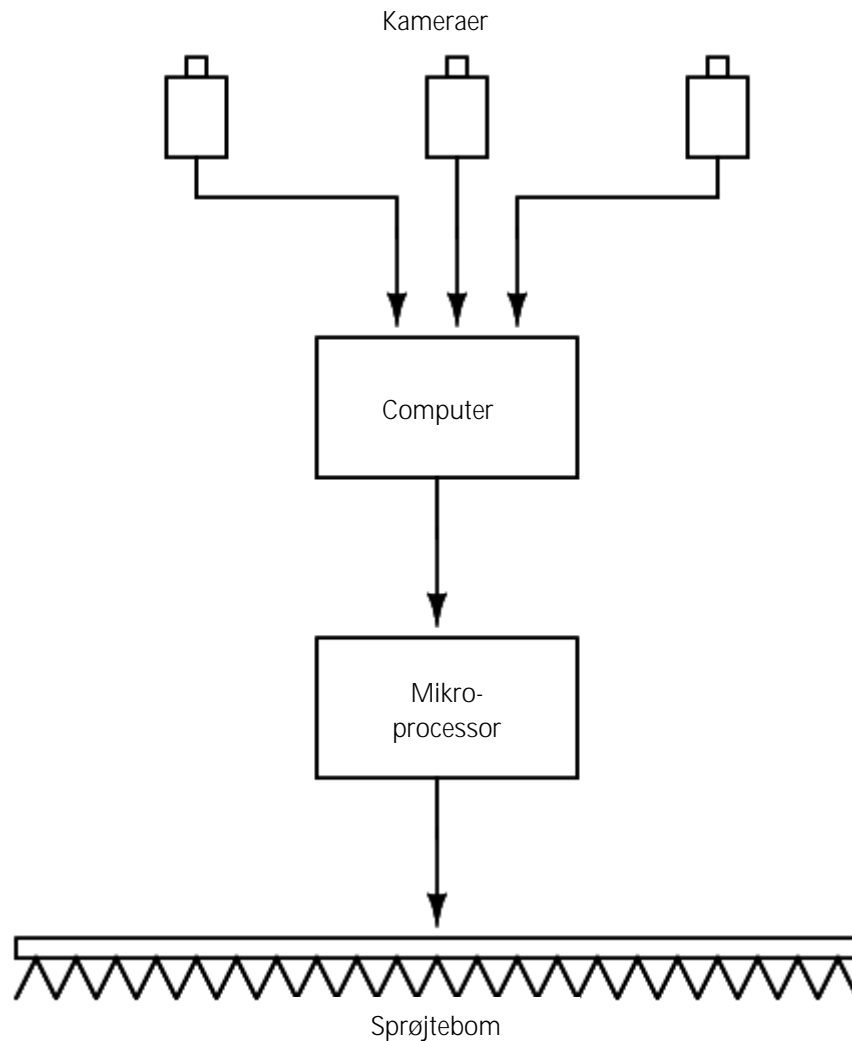
Når celledsprøjten bevæger sig hen over marken, bliver hele det overkørte areal fotograferet med billede efter billede. Hvert eneste billede bliver ved brug af en computer opdelt i celler og analyseret, men kun celler med ukrudt bliver sprøjtet. Den anvendte computer kan indhente billeder fra tre kameraer, som hver dækker 750 mm på tværs af køreretningen, svarende til én rækkeafstand. Celledsprøjten samlede arbejdsbredde bliver således 2,25 m, men kan udbygges med flere tre rækkes moduler. Dette modul er monteret på en automatiseret platform med rækkestyringssystem, figur 11. Alle kameraerne udløses samtidig, og billederne føres efter tur ind til analyseprogrammet. Efterhånden som analysen – og dermed de lokale sprøjtekort, et for hvert kamera - er klar, føres resultaterne over til en mikroprocessor.

Denne forsynes også med det estimerede tidspunkt, hvor rækken af celler befinder sig lige under sprøjtebommen. Tidspunktet bestemmes ud fra sprøjten aktuelle hastighed, som aflæses ved hjælp af et signal fra det køretøj, den er monteret på. Dermed har mikroprocessoren information om, hvilke celler der skal sprøjtes, og hvornår dette skal ske, og den overtager dermed ansvaret for processens videre forløb. I og med at mikroprocessoren overtager den tidskritiske del af processen, bliver computeren frigjort, således at den får bedre tid til at tage det næste sæt billeder inden sprøjten er kommet for langt frem.



Figur 11. En tre rækket celledsprøjte monteret på en autonom enhed

Informationsstrømmen i systemet går fra kameraerne til computeren, til mikroprocessoren og til ventilerne på sprøjtebommen. Dette er skematisk vist i figur 12.



Figur 12. Skematisk fremstilling af informationsstrømmen i celledsprøjtesystemet

Fra kameraerne til computeren er der tale om farvebilleder med en opløsning på 780 x 580 pixel (billedpunkter). Mellem computeren og mikroprocessoren foreligger informationen som datapakker, der indeholder tidspunkt for sprøjtning, samt hvilke dyser, der skal aktiveres. Endelig går der, fra mikroprocessoren til sprøjtebommen, 21 signalledninger, én til hver dyseventil.

3.1 Kameraer

De tre kameraer er af mærket AVT Marlin F-046C, og følger IEEE 1394 standarden (FireWire) ved overførsel af billederne til computeren.

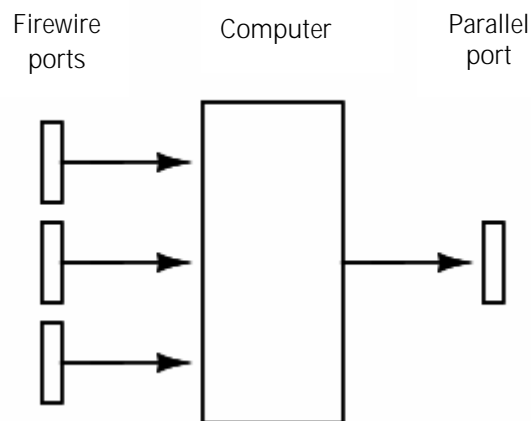
Overførselshastigheden gennem FireWire kanalen er 400 Mbit/s. Kameraerne er monteret i en højde på 1,05 m over jordoverfladen og er lodret orienterede,

hvorved billederne får en kalibreringsfaktor på 1 mm/pixel. Det er ikke hele billedet, som overføres fra hvert kamera, men kun det midterste rektangulære udsnit på 750 x 180 mm på jordoverfladen. Denne metode er valgt for at spare tid ved billedoverføringen. Alle tre kameraer udløses samtidig. Det er dog kun det første, som overfører sit billede umiddelbart efter eksponeringen, de 2 andre gemmer deres billeder internt. Når computeren har fået hele billedet fra det første kamera, startes overføringen fra det andet, og overføringen foregår derfor samtidig med at computeren analyserer billedet fra det første. Den samme teknik anvendes derefter igen, således at analysen af billedet fra kamera to foregår sideløbende med overføringen fra kamera tre.

I forbindelse med overføringen måler computeren billedernes lysværdi. Såfremt det indkomne billede afviger fra den erfaringsvis passende værdi, justeres kameraernes eksponeringstid op eller ned, således at de efterfølgende billeders lysværdi nærmer sig den ønskede værdi. Man opnår herved at kompensere for de ændringer i lysets intensitet, som kan forekomme på grund af f.eks. ændringer i skydækket.

3.2 Computer

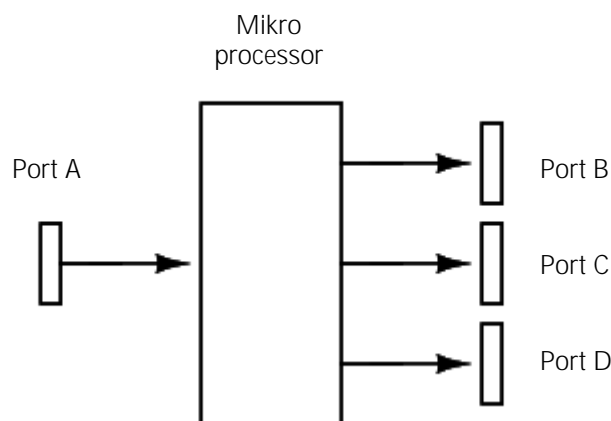
Systemets computer består af et bundkort af typen mini-atx bestykket med en processor, som drives med en klokke på 2,8 GHz. Kortet er bestykket med porte for parallel og seriel dataoverføring samt en ethernet forbindelse. Harddisken er en 2,5 tommers type med en kapacitet på 60 Gb. Computeren kan skematisk opfattes som vist i figur 13. Billederne hentes ind fra kameraerne via Firewireportene. De analyseres og det lokale sprøjtekort beregnes. Data fra dette kort kommunikerer ud til mikroprocessoren gennem en parallel port.



Figur 13. Skematisk fremstilling af celledsprøjtens computer

3.3 Mikroprocessor

Den anvendte mikroprocessor er af fabrikatet Atmel type ATMEGA8515. Denne processor er forsynet med 4 porte, som hver omfatter 8 bits, hvor alle kan omstilles til at virke som enten input eller output. Mikroprocessoren får sine data fra computerens parallelle port gennem sin Port A. Efter databehandlingen overføres resultatet til sprøjtebommen gennem portene B, C og D. Figur 14 viser en skematisk fremstilling af mikroprocessoren.

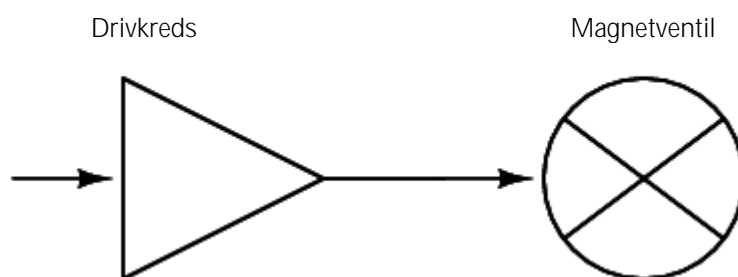


Figur 14. Skematisk fremstilling af mikroprocessoren

3.4 Sprøjteboom

Den opbyggede sprøjteboom er forsynet med 21 hydrauliske dyser, der er monteret med en indbyrdes afstand på 107 mm. Syv dyser dækker en bredde på 750 mm, svarende til rækkeafstanden i majsmarken. Hver dyse er forsynet med en magnetventil, som kan åbne eller lukke for væskestrømmen til dysen med få millisekunders intervaller. Magnetventilerne er af fabrikatet OmniFit med typebetegnelsen 038T2S12-54-4, 2WAYS NC.

Magnetventilerne styres fra mikroprocessorens porte B, C og D således at hver port styrer syv ventiler. Der anvendes således kun syv af de otte bits fra hver port. Signalerne fra hver bit styrer den modsvarende ventil gennem en drivkreds bestående af en MOSFET-transistor af type RFP12N10L for at give signalet tilstrækkelig styrke til at manøvrere ventilen. Figur 15 viser en principskitse af arrangementet.



Figur 15. Principskitse af drivkreds og magnetventil for en dyse

3.5 Programmering af computervisionsystem

Computeren kører under operativsystemet Debian (Debian, 2007), som er baseret på en Linuxkerne. Begge dele er "open source"-software. Programmerne for computeren er udviklet i sproget C, og for mikroprocessoren i dens assemblersprog. Den nuværende udgave af programmet er en udviklingsversion og forudsætter derfor kommunikation med en operatør via tastatur og skærm. For et færdigt system skal dette naturligvis ændres, således at programmet starter automatisk.

Ved starten skal programmet forsynes med tre styreparametre:

1. Kørehastighed i meter per sekund
2. En parameter, som angiver, hvorvidt afgrøderækken skal sprøjtes eller ej
3. En parameter, som bestemmer, om begge celler eller kun den ene skal sprøjtes, hvis der findes ukrudt på grænsen mellem dem.

Programmet er forberedt til at kunne hente kørehastigheden fra det køretøj, traktor eller autonom enhed, som cellesprøjten er monteret på. Når programmet starter, etablerer det først forbindelserne gennem firewireportene ud til kameraerne. Derved tælles der, hvor mange kameraer der er tilkoblede. Programmet kan således udmærket arbejde med et mindre antal kameraer end de tre, som er maksimum ved det opbyggede testmodul. Dog skal der altid være mindst ét kamera tilkoblet. Hvis der f.eks. kun er to kameraer indkoblet anvendes den sektion af sprøjtebommen, som modsvarer det tredje kamera naturligvis ikke.

Ved programstarten etableres der forbindelse til mikroprocessoren via computerens parallelport, og der overføres en kommando, som får mikroprocessoren til at indtage en bestemt, veldefineret tilstand. Efter at starten er gennemløbet, går programmet ind i en uendelig løkke som kun kan brydes ved en kommando fra operatøren. Første trin i denne løkke består i, at alle kameraer samtidig får besked på at tage et billede. Umiddelbart derefter aflæses den aktuelle tid fra computerens ur.

Udvikling af metoden til detektering af ukrudt er beskrevet i kapitel to, og selve programmeringen af computervision systemet fremgår af nedenstående. Det første trin i billedanalysen består i at kombinere de tre farvekanaler rød (R), grøn (G) og blå (B), således at der fremkommer et billede, hvor de grønne planter fremhæves som ganske lyse, mens resten bestående af jord, sten, tørre strå og lignende forsvinder ind i den mørke baggrund. Beregningen følger formlen:

$$A = 2 * G - R - B,$$

hvor A symboliserer det resulterende billede. Denne beregning skal altså gennemføres for hvert punkt i billedet. Metoden er beskrevet i Woebbecke et al. (1995).

A-billedet skal nu omdannes til et såkaldt binært billede, hvor alle billedpunkter er enten absolut sorte eller absolut hvide. Dette gøres ved at sammenligne hvert punkt med en såkaldt tærskelværdi, som er empirisk bestemt ud fra billedets lysværdi. Derfor er det vigtigt, at kameraerne løbende indstilles således, at billedernes lysværdi forbliver konstant, selvom der f.eks. går en sky for solen. Hvis et givet punkt i A-billedet har en værdi som er større end tærskelværdien, bliver punktet hvidt og ellers sort. I det binære billede fremstår således alle grønne planter som hvide mod en sort baggrund.

Hvis programmets anden styreparameter er sat til, at afgrøderækken ikke skal sprøjtes, bliver næste opgave nu at bestemme rækkens position. Dette gøres ved en metode, som er beskrevet af Søgaard & Olsen (2003). Kort fortalt består den i at summere alle billedets punktværdier fra top til bund. Derved fremkommer en kurve, som vil have maksimum dér, hvor rækken befinder sig. Rækkens position i det aktuelle billede fastlægges ganske nøjagtigt ud fra kombinationen af

- kendskab til rækkeafstanden
- kameraerne er monteret således, at rækken er nogenlunde lodret i billederne
- kendskab til, hvor rækken befandt sig i de nærmest foregående billeder.

Der lægges nu en linje ned i billedet oven i rækken og alle planter, som rører denne linje, fjernes fra billedet og sprøjtes derfor ikke.

Det skal bemærkes, at denne metode medfører, at en ukrudtsplante, som står inde i rækken, og som rører ved linjen, også bliver kategoriseret som afgrøde. Dette er naturligvis en fejl, men alternativet vil indebære en foranalyse af planterne, og dette vil være meget tidskrævende for computeren. Derfor er det besluttet, i denne programversion, at acceptere denne mulige fejl-kategorisering.

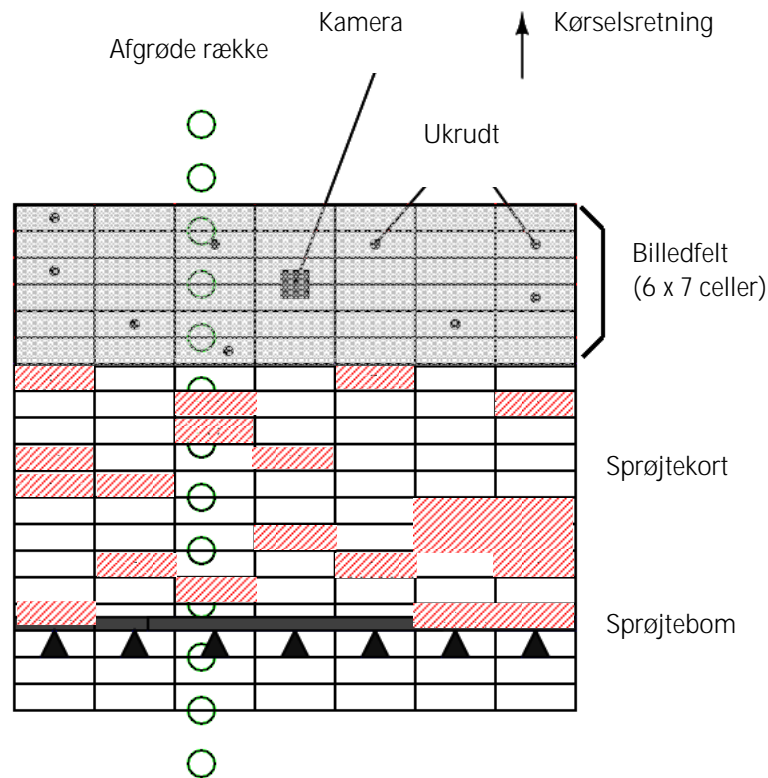
Billedet opdeles i rektangulære enheder (celler) på 30 mm i kørselsretningen og 107 mm på tværs. Da kameraerne er fast monteret i forhold til sprøjtebommen, kan cellerne placeres, således at dyserne – med en vis tidsforsinkelse – kommer til at passere hen over midten af hver celle. De celler, som ligger ved siden af hinanden i et bånd på tværs af kørselsretningen kommer således til at befinde sig under sprøjtebommen samtidigt.

Kameraerne er anbragt i en sådan højde over jorden, at billederne rummer seks celler i kørselsretningen og syv celler på tværs af kørselsretningen, hvilket svarer til billedfeltet for ét kamera. Hvert billede bliver altså opdelt i $6 \cdot 7 = 42$ celler, som skal analyseres hver for sig. Systemet er skitseret øverst på figur 16.

Der oprettes et sprøjtekort som, for hvert kamera, bare indeholder syv værdier, én for hver celle på tværs af kørselsretningen. Analysen af hver celle består i at bestemme, hvorvidt der er nogle hvide billedpunkter indenfor den pågældende celle. Hvis dette er tilfældet, sættes den pågældende værdi i sprøjtekortet til 1, hvilket betyder at cellen skal sprøjtes. I modsat fald sættes værdien til 0, og cellen forbliver usprøjtet.

Hvis der findes ukrudt på grænselinjen mellem to celler, afgøres det, ud fra programmets tredje styreparameter, hvorvidt begge celler skal mærkes for sprøjtning eller kun den, hvor den største del af ukrudtet befinder sig.

Når programmet er færdigt med en række af celler, beregnes på hvilken tid disse befinder sig lige under sprøjtebommen. Denne tid beregnes ud fra billedeoptagelsestiden, kørehastigheden og afstanden fra kameraerne til sprøjtebommen samt hvor lang tid billedanalysen har taget. Tiden samt det sprøjtekortet overføres til mikroprocessoren, som derefter foretager den egentlige sprøjtning.



Figur 16. Skematisk fremstilling af celledsprøjtesystemet for ét kamera.

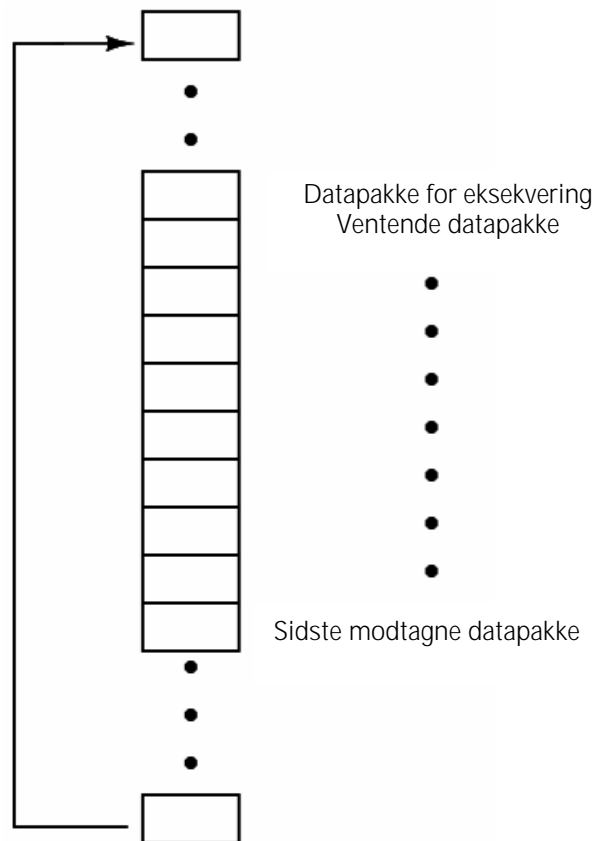
Mikroprocessoren får sine data ind til port A fra computerens parallelport som vist i figur 13 og 14. Den datastruktur, som overføres, består af en pakke som først indeholder et synkroniseringstegn, derefter en tidsværdi og endelig tre tegn for ventilstyringen. Disse tre tegn for styringen kontrollerer hver sin sektion af sprøjtebommen svarende til hvert kamera.

I mikroprocessoren er der programmeret et ur, som kører med en frekvens på 2 kHz, svarende til et "clocktick" for hver halve millisekund. Denne tid udgør den unøjagtighed, med hvilken magnetventilerne åbnes eller lukkes. Hvis man tænker sig, at sprøjten kører med en hastighed på en meter per sekund, svarende til 3.6 km/time, kommer dette halve millisekund til at svare til en halv millimeter kørestrækning. Denne usikkerhed i sprøjtedouchens placering er bedømt som værende acceptabel.

De indkommende datapakker bliver lagt ind i starten af en buffer i den orden de ankommer. Samtidig holder processoren øje med tidsværdien for de gamle pakker, som efterhånden kommer til at befinde sig i enden af bufferen. Når den aktuelle tid stemmer overens med værdien i den sidste pakke i bufferen, åbnes eller lukkes magnetventilerne på sprøjtebommen som de tre styringstegn angiver, og denne datapakke markeres som forbrugt.

For at bufferen ikke skal vokse ud over alle grænser er den udformet som en ringbuffer, således at pladsen for de forbrugte datapakker efter en tid bliver genbrugt til nyankomne. Figur 17 viser en enkel skitse af princippet.

Man kan opfatte det således, at den aktive del af ringbufferen, vist som den midterste del af figur 17, indeholder det lokale sprøjtekort for det område på marken, som befinder sig mellem kameraernes billedfelter og sprøjtebommen.



Figur 17. Skematisk fremstilling af mikroprocessorens ringbuffer. Nye datapakker bliver lagt til i nederste ende af bufferen, mens de øverste bliver eksekverede efterhånden som deres tidsværdier indtræffer. Når bufferen ikke rækker længere begyndes forfra.

3.6 Dataopsamling

I forbindelse med at cellesprøjten kører over marken og kontinuerligt både registrerer tilstedeværelsen af ukrudt på celleniveau og samtidig optager et billede af ukrudtet, forekommer det fornuftigt at indsamle denne information og lagre den for en evt. fremtidig anvendelse. Et eksempel på senere anvendelse kunne være til konstruktion af et detaljeret ukrudtskort over marken, hvilket kunne bidrage til et bedre valg af ukrudtsmidler og minimering af herbicidforbruget i såvel majsafgrøden som evt. andre afgrøder, der måtte dyrkes i sædskifte med majs.

Rent teknisk foregår dette ved, at de optagne billeder samt styringsinformationen, der viser om dyserne var åbne eller lukkede, løbende opsamles og geokodes ved hjælp af en GPS-modtager monteret på sprøjten. Systemet er udviklet, så brugeren kan benytte hvilken GPS-modtager, der ønskes. Dermed bestemmer brugeren også selv præcisionen på de GPS-data, der bliver kodet med sprøjteoplysningerne. I stedet for alene at lagre disse data lokalt ude på sprøjten f.eks. på et hukommelseskort, videresendes data i udgangspunktet via mobilnettet til en central database til efterfølgende dokumentations- og analyseformål.

Første opgave i denne sammenhæng var at fastlægge formatet for dataoverførslen. De tre mest anvendte kommunikationsprotokoller for

datatransmission indenfor jordbrug; AgroXML (Standardized Data Exchange in Farm Management Information Systems), F.O.D.M (Field Operations Data Model) og ISO 11783-10 (Serial control and communications data network) indgik i den endelige analyse. Alle tre protokoller bygger på XML (eXtended Markup Language). I analysen indgik en faglig vurdering af de tre formatters egnethed til overførsel af data i nærværende projekt. Det vægtede også tungt at vælge en kendt og bredt accepteret protokol i projektet. Resultatet af analysen viste, at ISO 11783-10 både opfylder de stillede krav i projektet og samtidig er protokollen så generisk opbygget, at den også kan håndtere en bred vifte af fremtidige udvidelser. Endvidere vurderes ISO-protokollen at få størst udbredelse i hhv. Danmark og Europa på længere sigt.

Næste opgave var at udvikle et softwareprogram til dataopsamling og overførslen af data til den centrale database. Til dette blev der i projektet udviklet et softwareprogram til afvikling på en j2me (java 2 micro edition) platform. Fordelen ved at anvende java-plattformen er, at softwaren kan køres på mange forskellige hardware-enheder, så længe de understøtter j2me. Java er det, man kalder platformuafhængig. Systemet er et realtime-system, der videregiver data kontinuerligt i takt med, at de opsamles. Alle opsamlede data får et tidsstempel og en geokodning, inden de sendes. Softwaren håndterer både dataoverførsel via mobilnettets GPRS-system (General Packet Radio Service) og trådløst netværk, WLAN (Wireless Local Area Network). Fordelen ved dette er, at man sikrer, at systemet altid udnytter den bedst tilgængelige båndbredde til transmission af data. Er der adgang til et højhastigheds trådløst netværk, f.eks. i nærheden af gården, anvendes dette. Ellers sendes data via GPRS. Skulle der hverken være WLAN- eller GPRS-dækning, gemmes data lokalt på hardwareenheden, til der igen kan oprettes forbindelse, hvorefter de ophobede data sendes. Eftersom disse små hardwareenheder som regel har begrænset diskplads lokalt, er softwaren udviklet så den - i tilfælde af længere perioder uden netværksdækning - kun vil lagre sprøjtedata for at sikre dokumentationen.

For at demonstrere java-softwarens uafhængighed af hardwareplatformen, er dataopsamlingsmodulet installeret og testet på 3 forskellige hardware-enheder:

- Siemens XT65 (figur 18)
- Hyline HCP65-G
- PSION Workabout Pro



Figur 18. Siemens XT65 dataopsamlingsmodulet

Simens XT65 og Hyline HCP65-G ligner hinanden, hvad angår specifikationer. For dem begge gælder følgende:

- Quad-Band
- GPRS Class 12
- Java imp-ng
- Kraftig processor (ARM© Core, Blackfin© DSP)
- Stor hukommelse (400 kb ram, 1,7 Mb flash)
- TCP/IP
- Mange interface muligheder (USB, RS232, I2C, SPI, m.fl.)

PSION Workabout Pro er noget større end de to andre og adskiller sig på flere måder, hvoraf især kan nævnes, at den kører med Windows mobile 2003 som styresystem, og at den som den eneste i testen har WLAN. Følgende kan siges om Workabout Pro'en:

- Windows Mobile 2003 styresystem
- 400 MHz intel Xscale processor
- 128 Mb ram, 64 Mb flash
- GPRS samt WLAN

Der er stor forskel på de testede enheder, både hvad angår pris, størrelse og ydeevne. Det er udelukkende for at vise og teste systemets alsidighed, at det er testet på tre forskellige hardwareenheder.

Som ovenfor nævnt optages der løbende billeder af hele det overkørte areal. Det er derfor også oplagt at videresende en kopi af disse billeder til databasen. Vi valgte dog at tilføje sprøjten et ekstra kamera samt en ekstra computer – billedcomputeren – til at løse denne opgave, fordi sprøjtens egen computer er hårdt belastet, og derfor kunne der blive problemer med sprøjtefunktionen, hvis den også skulle klare en egentlig billedindsamling. Den ekstra billedcomputer afventer et signal fra dataopsamlingsmodulet. Når dette signal kommer, optages et billede af det ekstra kamera, der i øvrigt er af samme type som sprøjtens andre kameraer. Billedet bliver derefter reduceret til en størrelse på 164 x 123 pixel og overført gennem den serielle port til dataopsamlingsmodulet for videre transport og lagring.

Billedhåndteringen i dataopsamlingsmodulet er programmeret som en særskilt 'tråd'. Tråde i software er en teknik, der gør det muligt at afvikle flere opgaver parallelt. Ydermere giver det mulighed for at prioritere opgaverne efter vigtighed. I en almindelig pc er det normalt ikke et problem at afvikle en mængde opgaver samtidig, da man har højt ydende processorer, men i små hardwareenheder som dataopsamlingsmodulet er det nødvendigt at prioritere, hvilke processer, der er vigtigst, så data ikke går tabt.

Dataopsamlingsmodulets vigtigste opgave er at samle data til dokumentation af markoperationer, dernæst kommer billedhåndteringsopgaven. Denne prioritering er valgt, eftersom det er vurderet, at skulle der gå et billede tabt, er dette ikke så kritisk. Prioriteringen mht. datasamling er som følger:
Tråd 1: Stedspecifik dokumentation af markoperationer (højeste prioritet)
Tråd 2: Stedspecifik billededokumentation (laveste prioritet).

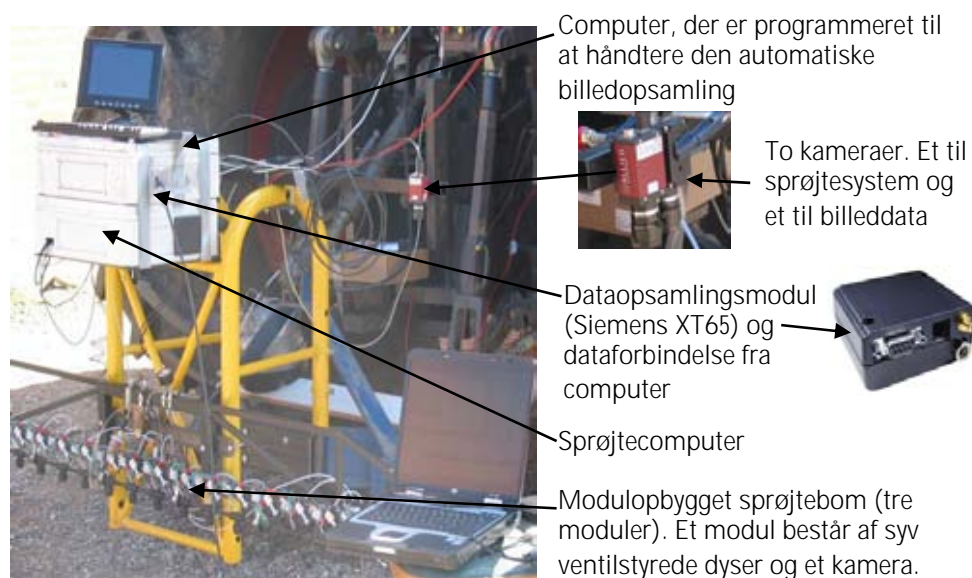
Data sendes via internettet til den centrale database, der er udstyret med en webservice. I projektet er Dansk Markdatabase valgt som central database. Første gang dataopsamlingsmodulet kontakter databasen identificeres jobbet ud fra GPRS-telefonens EMEI-nummer. Herefter sørger webserveren for, at

de efterfølgende data løbende lagres under den korrekte virksomheds-ID (CVR-nummer) i databasen. Dataopsamlingsmodulet er i udgangspunktet sat op til at sende datapakker hvert 5. sekund. Dette kan ændres efter behov. Båndbredden (på netværket) er her en afgørende faktor. Kører man for eksempel på GPRS netværket, kan der ikke sendes et billede for hvert 5 sekund. Det er forbindelsen ikke hurtig nok til at håndtere. Så mængden af data skales automatisk af programmet, afhængigt af båndbredden.

For at kunne bruge de indkomne data i dokumentationsøjemed er der programmeret et nyt modul, der gør det muligt at vise de modtagne dataregistreringer online i en almindelig internet webbrowser. Modulet, der er en overbygning på Markkort Online i Dansk Markdatabase, kan vise kortdata på baggrund af hhv. topografiske kort fra Kort- og Matrikelstyrelsen eller luftfoto (Danmarks Digitale Ortofoto©) fra COWI. Visningen kan afgrænses til kun at vise data indenfor en eller flere markpolygoner og/eller data opsamlet indenfor en afgrænset tidsperiode. Data præsenteres grafisk som et punkt pr. observation, hvor den absolutte dataværdi grafisk præsenteres på en farveskala. Det er endvidere muligt at eksportere rådata til videre dataanalyse, f.eks. i regneark.

3.7 Demonstration af det integrerede system

Til demonstrationen af det integrerede system blev der anvendt en 3-rækket cellesprøjte, som er vist i figur 19. I cellesprøjten blev indbygget et modul til automatiseret dataopsamling og forsendelse af sprøjtetekniske data samt håndtering af ukrudtsbilleder. Denne del består af en billedcomputer samt et dataopsamlingsmodul, der samtidig forestår den trådløse dataforsendelse til Dansk Markdatabase.



Figur 19. Det integrerede sprøjtesystem bestående af cellesprøjte og dataopsamlingsmodul

Demonstrationen blev gennemført på en sprøjtebane bestående af en 2 meter bred sort gummidug med en længde på 15 meter (figur 20).

På banen blev der pletvis monteret 300 kunstige "ukrudtsplanter", der hver havde en størrelse på 25 x 25 mm. "Ukrudtsplanterne" bestod af et grønt papirmateriale, og sprøjtecomputeren var indstillet til at sprøjte al grøn "vegetation".



Figur 20. Sprøjtebanen, der blev anvendt til demonstration af celledsprøjten med påmonteret kunstige "ukrudtsplanter"

Før selve demonstrationen blev placeringen af de enkelte "ukrudtsplanter" på banen kortlagt, hvorefter der blev gennemført indledende optimeringskørsler med sprøjtesystemet alene. Det viste sig, at det var muligt at detektere og sprøjte stort set alle sprøjtemål, idet disse grønne farve adskilte sig markant fra banens sorte underlag (figur 21). Præcisionen for sprøjteprocessen er imidlertid afhængig af hastighedssensorens nøjagtighed, idet sprøjtebommen er placeret bag kameraerne, hvorfor detektion og applikation foregår med en vis tidsforskydning.



Figur 21. Præcisionen i sprøjteprocessen

Derimod viste de praktiske forsøg med on-line dataoverførsel via en GPRS forbindelse, at der var praktiske problemer med at overføre de relativt store billeder via dette system. Det var simpelthen ikke muligt at få overført de optagne billeder i realtid til den centrale database, fordi billederne var for store. Undervejs blev det forsøgt at reducere opløseligheden og dermed størrelsen på billederne, men hvis det skal give mening at udføre en analyse på dem med henblik på artsbestemmelse, vil det være nødvendigt med billeder i minimum VGA størrelse. Med en almindelig optik og kameraet anbragt ca. en m over jorden, får man en opløsning på ca. 1 x 1 mm på jordoverfladen, hvilket er minimum for en artsbestemmelse.

VGA størrelsen indebærer billeder på 640 x 480 pixels. Eftersom der er tale om farvebilleder, vil et billede fylde $640 \times 480 \times 3 = 921600$ bytes. En hurtig overførselshastighed for computerens serielle port, som er den normale at anvende ved denne type dataforbindelse, er 115200 bits/sekund. Overførselstiden for ét billede ud gennem serieporten bliver da $921600/115200 = 80$ sekunder, eftersom hver byte omfatter 10 bits når start- og stopbit inkluderes. Ved forsøgene blev denne overførselstid anset for at være for lang, hvorfor billederne blev reducerede 4 gange på hver led. Dette var acceptabelt for de foreliggende forsøg, men vil næppe kunne godtages for billeder, som for eksempel skal kunne anvendes til artsbestemmelse.

Ovennævnte forhold giver anledning til overvejelser over, hvorvidt det er muligt at finde en anden løsning på problemet med dataoverførsel. En mulighed – som ikke er afprøvet – er et koncept, hvor alle de indsamlede data, billeder såvel som sprøjtedata, lagres på den lokale computer på køretøjet medens sprøjtningen foregår. Når denne er færdig, og sprøjten kommer indenfor rækkevidden af gårdens trådløse netopkobling, startes overføringen af de indsamlede data automatisk. Dette koncept vil ganske vist ikke indebære realtids online overførsel, men det vil medføre, at operatøren ikke skal huske på at afmontere datakort og selv sørge for at få data overført. Desuden vil et sådant system kunne opnå en betydelig større hastighed på dataoverførslen sammenlignet med det tidligere beskrevne, idet det anvender internettet til at flytte data.

4 Væskeforstøvning og -fordeling

4.1 Introduktion

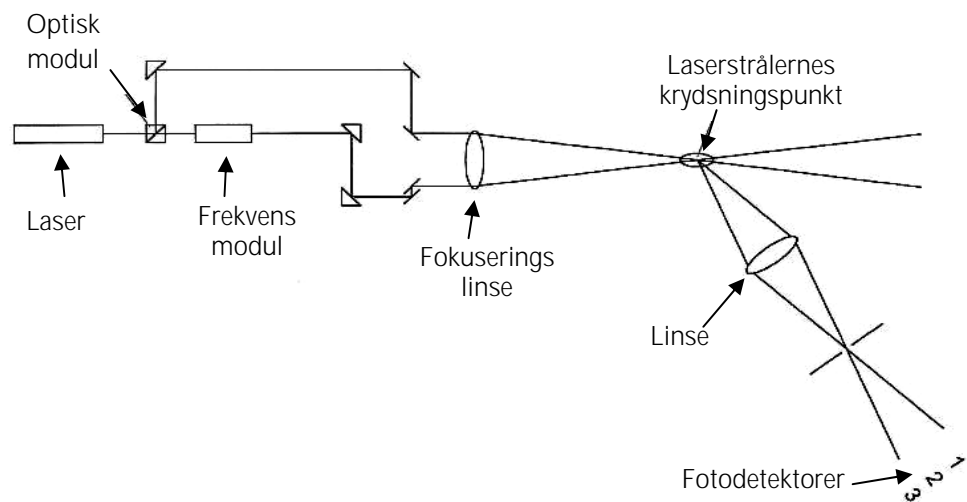
Til forstøvning af sprøjtevæsken er anvendt hydrauliske dyser, der alle er kommercielt tilgængelige. Dette har været en afgørende faktor i produktudviklingen, idet det kan formodes, at det samlede sprøjtesystem hurtigere finder vej til praktisk anvendelse. Imidlertid anvendes dyserne i en tættere afstand fra jordoverfladen, hvorved dråbehastigheden øges ved anslag mod planten. Dette kan skabe problemer med afsætning og retention. Samtidig er målet med at sprøjte i celler at ramme små arealer, hvilket stiller krav om reduceret væskeflow og reduceret sprøjtevinkel. Disse specielle tekniske forhold kan have betydning for såvel væskeforstøvningen som væskefordelingen.

4.2 Metoder

4.2.1 Analyse af væskeforstøvning

Væskeforstøvningen analyseredes ved anvendelse af et laserbaseret måleudstyr (Phase Doppler - Dantec). Måleudstyret er et optisk system til at måle såvel størrelse som hastighed af de enkelte dråber i væskeforstøvningen.

Udstyret består af en 300 mW argon-ion laser, som udsender en laserstråle (514.5 nm bølgelængde) og sender den igennem et optisk modul (beam splitter), der deler strålen i to stråler. Den ene stråle fortsætter uforandret, hvorimod den anden føres igennem et frekvensmodul (bragg cell). De to stråler sendes derefter igennem en fokuseringslinse, hvorved de tvinges til at krydse hinanden i en given afstand (se figur 22 og 23).



Figur 22. Laserbaseret måleudstyr til analyse af dråbestørrelsesfordelingen

Det er i dette krydsningsfelt, at selve målingen finder sted. Hver enkelt dråbe registreres i det øjeblik, den passerer dette målevolumen og reflekterer lyset fra begge stråler, hvorved der genereres et optisk interferensmønster.



Figur 23. Krydsningsfeltet mellem de 2 laserstråler, hvor dråbeanalysen finder sted

Tre fotodetektorer registrerer det reflekterede lys fra begge stråler og omformer det til et Doppler signal, der sendes til målecomputeren, der udfører de statistiske analyser (Dantec BSA Flow software version 2.12).

Fotodetektorerne er monteret således, at de opfanger signalet i forskellig vinkel, og faseforskydningen for de to signaler er lineær proportional med størrelsen af de respektive dråber. Dråbestørrelsen bliver bestemt ud fra en kalibreringskurve, og ved sammenfald af flere dråber igennem målevoluminet sker der automatisk en filtrering.

Dråbehastigheden bestemmes ud fra kendskabet til pulsen fra de reflekterede dråber, idet denne er proportional med dråbehastigheden.

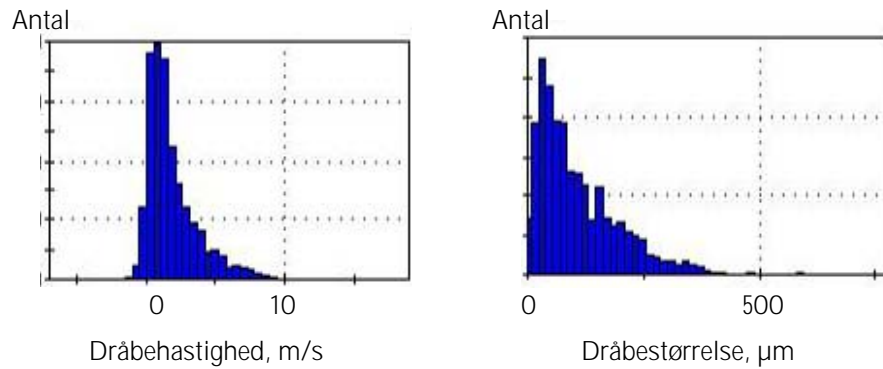
Den grundlæggende teori for måleprincippet er phase doppler anemometry. Teorien og de senere udviklede målesystemer blev introduceret i 1984 af 3 forskergrupper (Buckhage et al., 1984; Saffmann et al., 1984; Bachalo et al., 1984)

For at opnå et repræsentativt billede af dråberne i hele forstøvningen foregik målingerne ved at montere dyserne i et x-y traverserings system, hvorved et vandret snit af forstøvningen blev scannet. Måleafstanden fra dysen var ved disse forsøg 30 cm.

Dråberne i en væskeforstøvning fra hydrauliske dyser er meget inhomogene. Sprøjtedyser kan generere dråber fra under 1 μm og op til flere hundrede μm . Dråbestørrelsen varierer med væsketrykket og dysestørrelsen.

En grafisk præsentation af dråbestørrelse og -hastighed fra en analyse er vist i figur 24. Y-aksen viser antallet af dråber ved en given hastighed og dråbestørrelse.

Den grafiske præsentation giver dog kun et overblik, og en statistisk dataanalyse er nødvendig for at give en repræsentativ information.



Figur 24. Grafisk præsentation af dråbeanalysedata. De to figurer viser antallet af dråber opdelt i forskellige hastighedsklasser (venstre figur) og størrelsesklasser (højre figur).

Middeldråbestørrelsesfordelingen er den hyppigst anvendte statistiske terminologi til beskrivelse af dråbestørrelsesfordelingen ved analyse af forstøvningen fra landbrugsdyse. Middeldråbestørrelsen beskriver den dråbestørrelse, der deler væsken i to lige store væskevolumener.

4.2.2 Analyse af væskefordeling

Væskefordelingen ved anvendelse af on/off-regulerede standard- og evenspray-dyser til celledsprøjtning i decimeterskala blev undersøgt under laboratorieforhold.

De fleste standarddyser er beregnet til montering på en sprøjtebom med en indbyrdes afstand på 50 cm. Den enkelte dyse fordeler ikke væsken jævnt på jordoverfladen, men da der altid er overlapning fra nabyserne, bliver resultatet en ensartet fordeling. Til celledsprøjtning anvendes kun én dyse til hver enkelt celle, hvilket betyder, at der er behov for en optimeringsproces for at opnå en ensartet væskefordeling på tværs og på langs af sprøjtecellen.

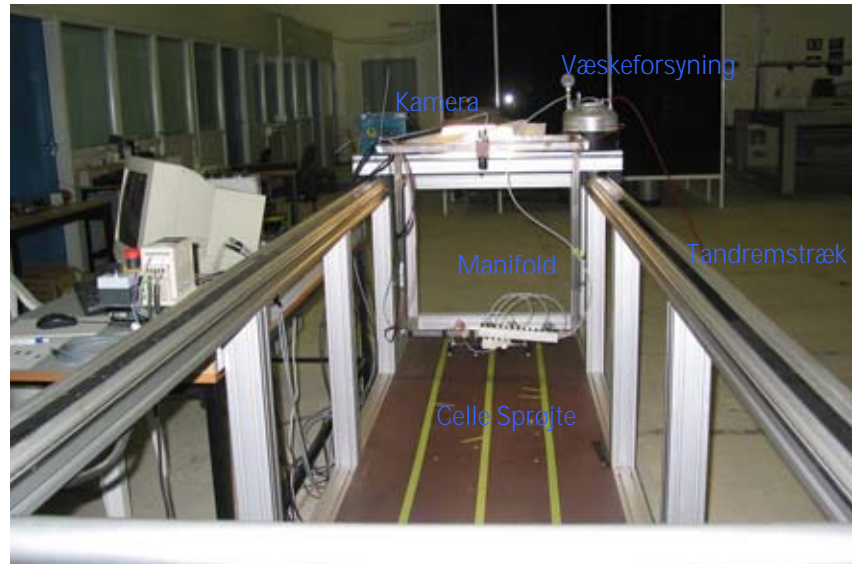
Væskefordelingen på tværs af sprøjtecellen undersøges på et stationært fordelerbord, der er opdelt i 10 mm brede kanaler. Se figur 25. Dysen monteres i den ønskede højde, og væskefordelingen registreres.



Figur 25. Måling af væskefordeling ved brug af et stationært fordelerbord

Fladefordelingen af sprøjtevæsken i sprøjtecellen blev undersøgt ved en fordelingstest under kontrollerede forhold i en dynamisk prøvestand, som vist i figur 26.

Sprøjtesystemet var monteret i prøvestanden, hvor fremkørselshastigheden kan simuleres vha. linearmoduler med tandremstræk. Væsken blev opsamlet på hvide kunststofplader for derved at visualisere de sprøjtede celledimensioner.



Figur 26. Simuleringsstand til dynamiske undersøgelser af celledsprøjte

4.3 Resultater

4.3.1 Analyse af væskeforstøvning

Der er gennemført detailstudier af forstøvningen fra ti kommercielle dyser, som også er anvendt i forbindelse med de biologiske undersøgelser der er beskrevet i kapitel 5. Formålet med studierne har været at udvælge de bedst egnede "cellesprøjtedyser" ud fra opstillede tekniske kravsspecifikationer, der bl.a. omfattede reduceret væskeflow ved uændret dråbestørrelsesfordeling. Se tabel 1. Til sammenligning blev der anvendt en Hardi lavdriftsdyse type LD-015, som anvendes til montering på en konventionel sprøjtebom. Denne dyse har en sprøjtevinkel på 110, der er beregnet til bredsprøjtning. TeeJet TP-4001E er en såkaldt båndsprøjte, der er designet til at kunne fordele væsken jævnt i et smalt bånd på tværs af køreretningen. Dette er til gengæld ikke tilfældet for TeeJet U-dyserne, der alle er standard faldsprededyser og derfor fordele væsken ensartet. Disse er valgt på grund af deres lille sprøjtevinkel samt forholdsvis lave dyseydelse. Endelig er DG-95015E en lavdriftsdyse med en reduceret sprøjtevinkel på 95 grader.

Tabel 1 viser resultaterne fra dråbeanalyserne. Dyserne er alle testet ved 3 bars væsketryk, og resultatet er baseret på en repræsentativ scanning af et vandret snit i sprøjtevæsken i en lodret afstand fra dysen på 30 cm. Forsøgene er gennemført med tre gentagelser.

Tabel 1. Dysekarakteristik og dråbedata

Dyse	Sprøjte vinkel °	Dyse ydelse l/min	$D_{0,1}$ ¹ µm	$D_{0,5}$ ² (VMD) µm	Middeldråbe Hastighed m/s
Hardi LD015	110	0,63	131	239	2,8
TeeJet TP-4001E	40	0,40	122	231	5,2
TeeJet U-0033	15	0,13	113	195	6,5
TeeJet U-0067	15	0,26	176	287	9,5
TeeJet U-01	15	0,38	174	294	9,8
TeeJet U-015	15	0,59	178	304	10,7
TeeJet U-0033	25	0,13	99	171	6,0
TeeJet U-0067	25	0,26	149	250	8,7
TeeJet U-01	25	0,39	164	281	9,2
TeeJet U-015	25	0,57	169	294	9,2
DG-95015E	95	0,63	131	239	2,7

¹⁾ $D_{0,1}$ er den dråbestørrelse, hvor netop 10% af væskemængden består af dråber der er mindre end denne diameter.

²⁾ $D_{0,5}$ er den dråbestørrelse, hvor netop 50% af væskemængden består af dråber der er mindre end denne diameter.

For at kunne anvende dyserne til sprøjtning af celler med en bredde på 10 cm er det, som tidligere nævnt, afgørende at dyseydelsen reduceres i sammenligning med dyser anvendt til breddsprøjtning, hvor væsken fordeles over 50 cm. I modsat fald ville væskemængden på celleniveau blive uacceptabelt stor og resultere i forringelse af den biologiske effekt og forurening af jordoverfladen på grund af overskydende sprøjtevæske. Sammenlignet med referencedysen (Hardi LD015), der fordeler væskemængden over 50 cm's bredde, skal en dyse, der bruges til cellesprøjtning af 10 cm brede celler, have en ydelse på en femtedel. I dette tilfælde svarende til ca. 0,15 liter per minut. Derfor indeholder tabel 1 resultater fra dyser, der er mindre end de dyser der normalt anvendes i praksis til konventionelt landbrug. Dette vil under normale forhold resultere i en finere væskeforstøvning med deraf følgende risici for vindafdrift, men da vi har behov for at dosere væsken på et mindre overfladeareal er der her valgt dyser med en mindre spredevinkel. Dette hindrer dannelsen af de små dråber, idet dråbestørrelsen generelt øges ved at reducere spredevinklen med den effekt, at dråbetætheden i forstøvningen forøges.

Det ses ud fra tabellen, at det er muligt at opretholde tilnærmelsesvis samme dråbestørrelse som ved referencedysen (Hardi LD015), selvom der anvendes en mindre dyse (TeeJet U-0067), som giver under halvdelen i væskemængde. Ved at reducere væsketrykket øges dråbestørrelsesfordelingen, hvilket tyder på, at TeeJet U-0033 dysen med en spredevinkel på 15 grader vil kunne anvendes ved et mindre væsketryk og dermed yderligere reduktion i væskemængden. Dog kan det være problematisk at spredevinklen reduceres på grund af den øgede dråbehastighed. Dette forhold kombineret med, at cellesprøjtedyseren må antages at blive monteret tættere på afgrøden bevirker at væskens anslagsenergi øges betydeligt, hvilket kan have negativ virkning på planternes væskeretention.

Dråber under 100 µm anses som særlig afdriftsfarlige, og det ses at TeeJet U-0033 dysen med en 25 grader spredevinkel har en højere afdriftsrisiko, idet 10 procent af sprøjtevæskens volumen er under 99 µm.

Even spray dysen TP 4001-E er designet til anvendelse i forbindelse med båndsprøjtning, hvilket vil sige at væsken fordeles jævnt på tværs af spredeviften. Dette må anses for en stor fordel i forbindelse med cellesprøjtning, hvor en enkelt dyse skal dække et helt celleareal. Desværre er TP 4001 E dysen den mindste i denne serie, hvorfor der yderligere er behov for at reducere væskeflowet. Dette kan ikke udelukkende klares ved at sænke væsketrykket, idet grænsen for dråbegenereringen overskrides. Typisk bliver dråbegenereringen ustabil ved væsketryk under ca. 1,5 bar. Hvis denne dyse anvendes, skal der således yderligere indføres en flowregulering.

4.3.2 On/off-regulering af dyseflow

For at kunne udføre en sprøjtning af celler i en størrelsesorden på ca. 10 cm er det nødvendigt at finde frem til en meget hurtigtvirkende on/off regulering. Indledningsvis blev der anvendt industrielle magnetventiler, men det viste sig at disse ikke var hurtige nok til at klare opgaven, hvilket resulterede i sprøjtning af for store arealer. I de efterfølgende undersøgelser blev der udelukkende arbejdet med små magnetventiler fra Bio-Chem Valve Inc. (OmniFit). De tekniske specifikationer for tre ventiler er angivet i tabel 2.

Tabel 2. Tekniske specifikationer for Bio-Chem 12 Volt's magnetventiler

Ventil type	Diameter D_i mm	Volumen V_i μ l	Effektforbrug W	Åbningstid ved fuld åbning ms
OM075T2S44	0,8	39	2,8	15
OM075T2NC1254	1,4	39	2,8	15
OM038T2NC1254	1,4	42	1,8	10

For at kontrollere funktionen af de 3 magnetventiler i kombination med fladsprededyser er disse undersøgt med hensyn til væskeflow og aktuel dysehøjde ved 100 mm båndbredde. Resultaterne fremgår af tabel 3.

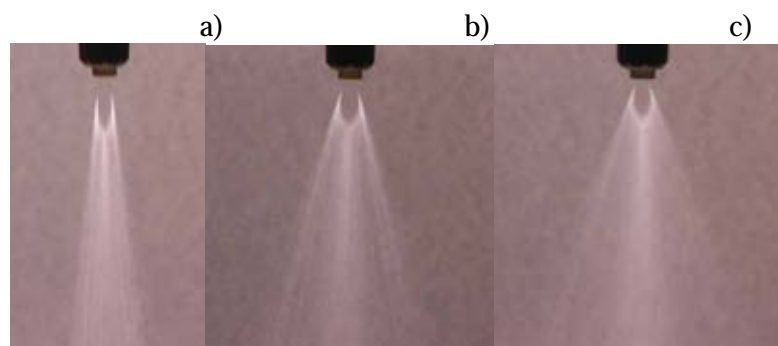
Anvendelse af magnetventil OM075T2S44 bevirkede at væskeflowet næsten blev halveret sammenlignet med væskeflowet for dysen alene. Dette skyldes den forholdsvis lille diameter på 0,8 mm, som fungerer som en volumenregulering. Den kraftige regulering af væskemængde har samtidig den effekt at spredevinklen reduceres, idet dysen nu skal monteres i 415 mm's højde for at fordele væsken i samme bredde som når dysen er monteret i 137 mm uden brug af magnetventil.

Ved anvendelse af magnetventil OM075T2NC1254 opnås kun lille volumenreduktion, medens volumenreduktionen helt er forsvundet ved brug af OM038T2SNC1254. Jo mindre volumenreduktion der opnås, jo mindre indvirkning har det på spredevinklen, hvilket fremgår af tabel tre. Derfor kunne OM038 ventilen være velegnet, idet den også har det laveste effektforbrug og den hurtigste åbningstid. Hvis de i tabellen nævnte åbningstider er for langsomme, kan ventilerne aktiveres med 24 Volt i stedet for 12 Volt. Herved halveres åbningstiden.

Tabel 3. Væskeflow og dosering ved anvendelse af Bio-Chem 12 Volts magnetventiler sammen med evenspray dyser

Dyse	Magnet Ventil	Dyse tryk	Dyse ydelse uden magnet ventil	Dyse ydelse med magnet ventil	Dosering i 100x100 mm celler omregnet til markdosering (V=2,0 m/s)	Teoretisk dysehøjde ved 100 mm bånd	Målt dysehøjde ved 100 mm bånd (V=0,5 m/s)
		bar	l/min	l/min	l/ha	mm	mm
TP-4001E	OM075 T2S44 S	2,3	0,35	0,20	177	137	415
TP-6501E	OM075 T2S44	2,3	0,36	0,20	191	78	160
U-65067	OM075 T2S44	2,3	0,23	0,17	X	78	125
TP-4001E	OM075T2 NC1254	1,4	0,22	0,18	159	137	340
TP-6501E	OM075T2 NC1254	1,4	0,22	0,18	161	78	150
TP-4001E	OM038T2 SNC1254	1,4	0,22	0,22	197	137	250
TP-6501E	OM038T2 SNC1254	1,4	0,22	0,22	190	78	120

De 3 dyser, der er anvendt sammen med Bio-Chem magnetventilen er vist i figur 27. a) Even-spray dyse med 40 graders spredevinkel (TeeJet TP-4001E), b) Even-spray dyse med 65 grader spredevinkel (TeeJet TP-6501E) og c) standard fladsprededyse med 65 graders spredevinkel (TeeJet U-65067).



Figur 27. Dyser anvendt til celledsprøjtning. a) TeeJet TP-4001E, b) TeeJet TP-6501E og c) TeeJet U-65067

4.3.3 Væskefordeling i celler

Fladefordelingen samt randzone forholdene ved anvendelse af on/off regulerede spray dyser til celledsprøjtning i decimeter skala er undersøgt under laboratorieforhold.

Som nævnt tidligere er de fleste standarddyser beregnet til montering på en sprøjtebom med en indbyrdes afstand på 50 cm. Den enkelte dyse fordele ikke væsken jævnt på jordoverfladen, men da der altid er overlappning fra nabydserne, bliver resultatet en ensartet fordeling. Til celledsprøjtning anvendes der kun én dyse til hver enkelt celle, hvilket betyder at der er behov

for en optimeringsproces for at opnå en ensartet væskefordeling på tværs og på langs af sprøjtecellen.

Bomhøjden er ofte lavere ved celledsprøjtning, hvilket giver ændrede forhold omkring væskedynamikken i relation til væsketransport, -turbulenser, -fordeling og -afsætning. Dette giver anledning til nærmere strømningstekniske studier.

Væskefordelingen på tværs af sprøjtecellen undersøges stationært på et væskefordelerbord, der er opdelt i ti mm brede kanaler. Dysen monteres i den ønskede højde og væskefordelingen registreres.

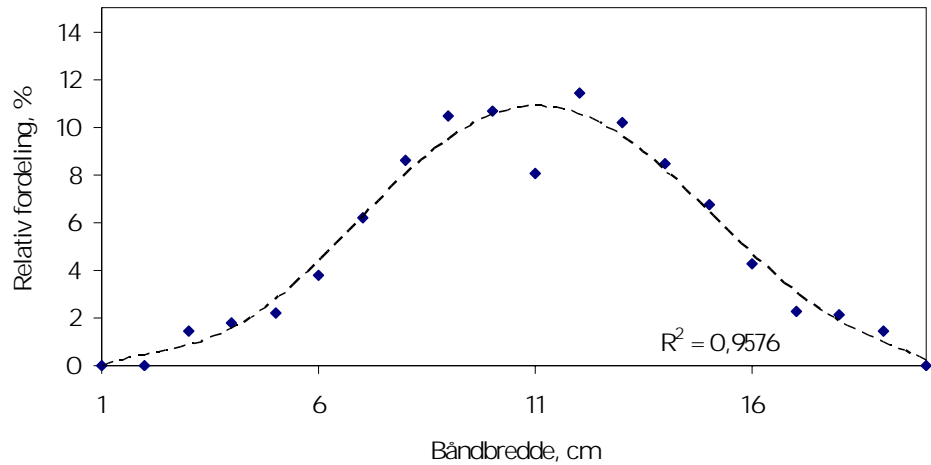
Dynamikken i forbindelse med fremkørselshastigheden og virkningen af on/off regulerede dyser undersøges ved opsamling af dråber i små celler. Fordelingen i de enkelte celler er undersøgt ved visuelle studier af fotografiske optagelser.

I det følgende er der vist resultater fra to fladsprededyser, hvoraf den ene er en even dyse. Begge dyser er anvendt ved montering i 35 cm afstand fra sprøjtemålet og ved et væsketryk på henholdsvis 1,4 og 1,8 bar. Det er tilstræbt at sprøjte et areal på 10 x 10 cm. Figur 28 og 29 viser fordelingsresultater fra even-spray dysen TeeJet TP-4001E ved 1,4 bars væsketryk, figur 30 og 31 viser resultatet fra samme sprøjtning med samme dyse ved et højere væsketryk på 1,8 bar. Endelig viser figur 32 og 33 fordelinger fra en standard fladsprede dyse TeeJet TU40033.

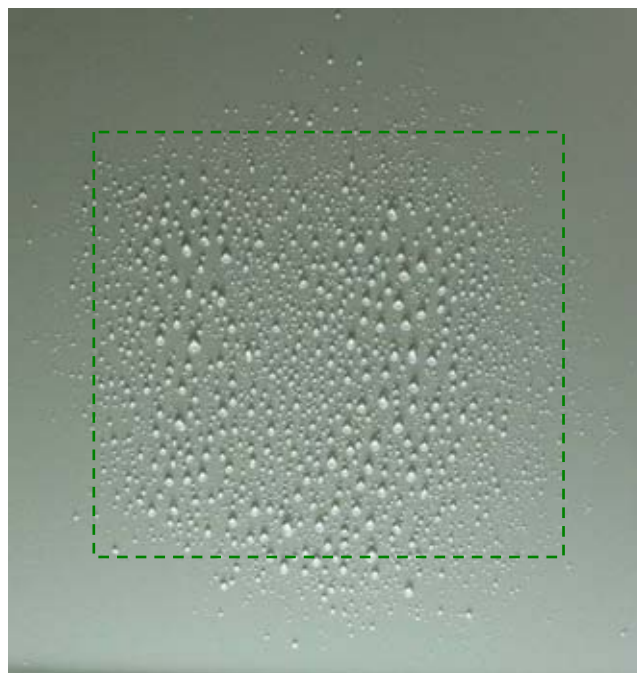
Even-spray dysen fordeler væsken ved 1,4 bar op til ca. 8-10 cm målt ved stationære tests, altså i underkanten af det tilstræbte på fuld dosering i 10 cm (figur 28). Dråbefordelingen er visualiseret ved opsamling af spray på en hvid plastplade, og det ses at de store dråber fortrinsvis er koncentreret i periferien af sprøjtemålet, medens den finere forstøvning til dels ses i midten af cellen (figur 29). Samtidig ses at der ved de dynamiske målinger også er problemer med væskeafsætningen i sprøjtecellens hjørner.

Ved at hæve væsketrykket til 1,8 bar bliver væskefordelingen mere hensigtsmæssig, hvilket fremgår af figur 30 og 31. Dog ses stadig tendens til, at de lidt større dråber er placeret i periferien af cellen, hvilket kan have negativ betydning for den biologiske effekt.

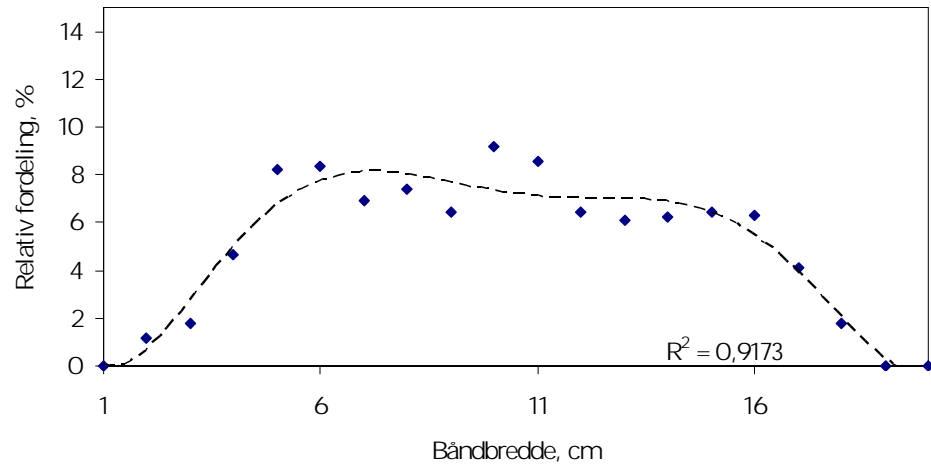
Væskens fordeling fra standard fladsprededyser TeeJet TU40033 er normalfordelt med en stor væskemængde i centrum af dysen og aftagende ud mod spredevinklens periferi, figur 32. Væskens forstøvningsgrad er finere end tilfældet er med even-spray dyserne, hvilket visuelt kan ses i figur 33.



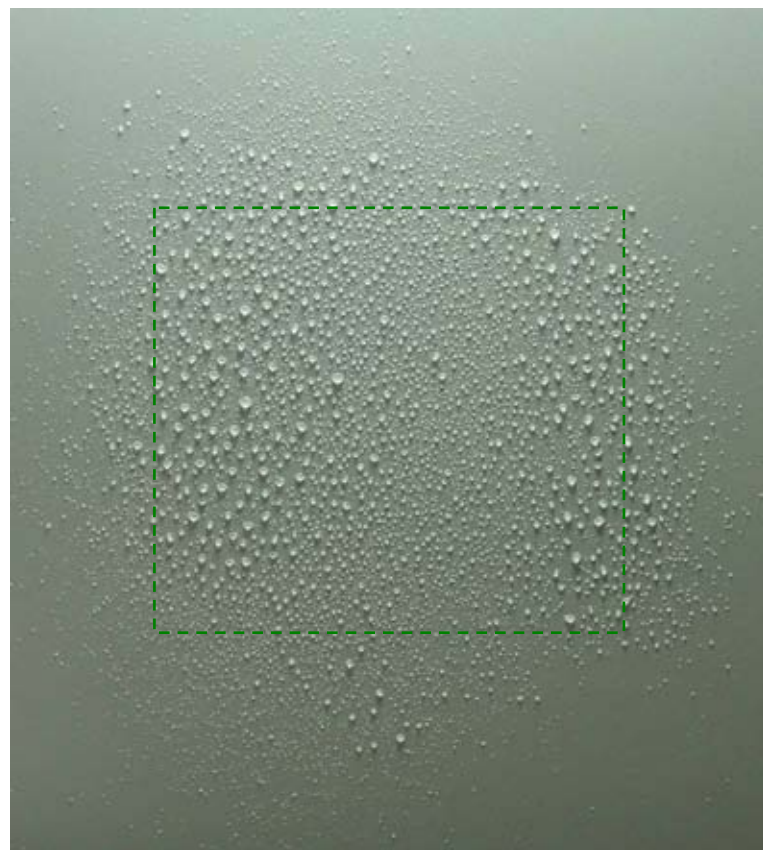
Figur 28. Relativ væskefordeling fra even spray dysen TeeJet TP-4001E målt ved 1,4 bar og ved en dysehøjde på 35 cm. Resultater fra statistiske målinger i væskefordelingsprøvestanden. (◆ = målte værdier, - - - = trendline)



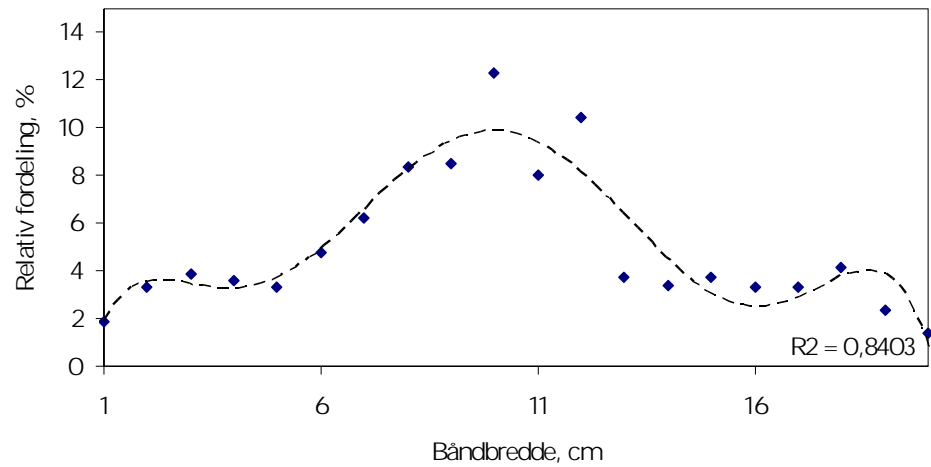
Figur 29. Billede af væskens fladefordeling fra even spray dysen TeeJet TP4001E ved 1,4 bars tryk, en dysehøjde på 35 cm og en fremkørsels hastighed på 0,5 m pr. sekund. Kørselsretning er fra billedets top til bund. Dråberne er opsamlet på hvid plastplade og det grønne stiplede kvadrat indikerer en cellestørrelse på 10 x 10 cm.



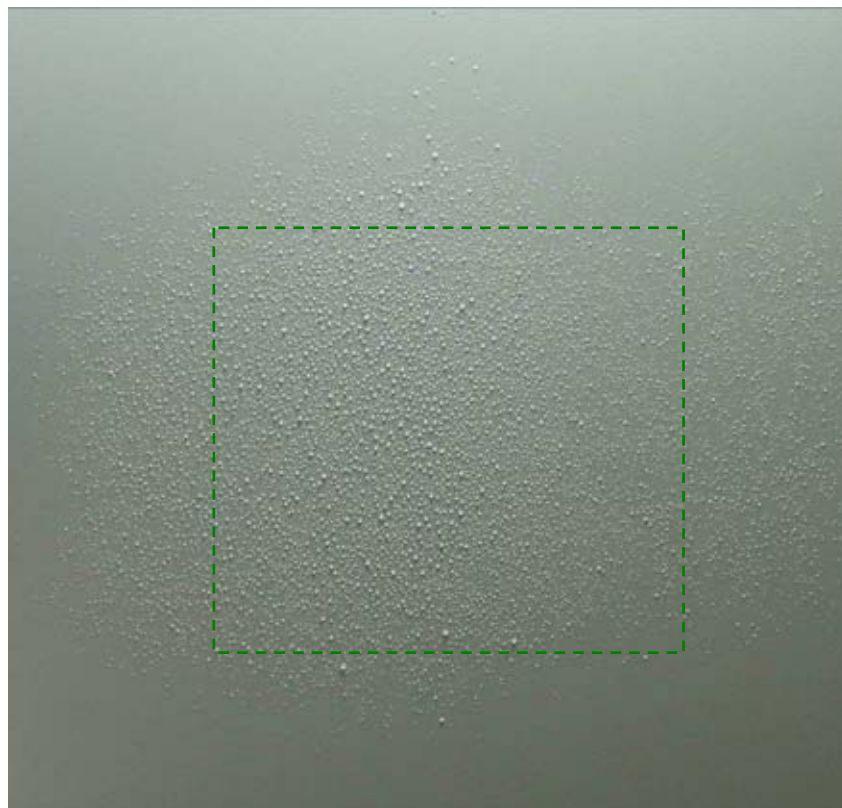
Figur 30. Relativ væskefordeling fra even spray dysen TeeJet TP-4001E målt ved 1,8 bar og ved en dysehøjde på 35 cm. Resultater fra statistiske målinger i væskefordelingsprøvestanden. (◆ = målte værdier, - - - = trendline)



Figur 31. Billede af væskens fladefordeling fra even spray dysen TeeJet TP4001E ved 1,8 bars tryk, en dysehøjde på 35 cm og en fremkørsels hastighed på 0,5 m pr. sekund. Kørselsretning er fra billedets top til bund. Dråberne er opsamlet på hvid plastplade og det grønne stiplede kvadrat indikerer en cell størrelse på 10 x 10 cm.



Figur 32. Relativ væskefordeling fra standard fladsprededysen TeeJet TU-40033 målt ved 1,8 bar og ved en dysehøjde på 35 cm. Resultater fra statistiske målinger i væskefordelingsprøvestanden. (◆ = målte værdier, - - - = trend line)



Figur 33. Billede af væskens fladefordeling fra standard fladsprededysen TeeJet TU400033 ved 1,8 bars tryk, en dysehøjde på 35 cm og en fremkørselshastighed på 0,5 m pr. sekund. Kørselsretning er fra billedets top til bund. Dråberne er opsamlet på hvidt plastplade og det grønne stiplede kvadrat indikerer en cellestørrelse på 10 x 10 cm.

5 Biologisk effekt i celler

I kapitel fire blev valget af dyser i projektet begrundet, tekniske undersøgelser gennemført, og lovende dyser udvalgt til biologiske effektforsøg. Selvom en dyse har vist, at den teknisk vil kunne behandle en celle med en tilstrækkelig ensartet fordeling, adskiller opgaven sig fra den måde dyserne normalt anvendes, og en række forhold, som kan formodes at påvirke den biologiske effekt, er ændret. Ved celledsprøjtning skal standarddyser anvendes ved en lavere dysehøjde end normalt, og dermed en kortere afstand til sprøjtemålet. Det betyder, at dråberne har en større del af deres udgangshastighed i behold, når de rammer sprøjtemålet. Det kan have betydning for afsætningen af sprøjtevæske på planter.

Konventionel sprøjtning foregår normalt ved en kørehastighed på ca. 2 m/s. På 1/100 af et sekund bevæger dysen sig således to cm, og den skal kun være åben i 5/100 sekund for at sprøjte ti cm i længden. Celledsprøjtning med korte celledlængder og en kørehastighed, der ikke afviger væsentligt fra nuværende praksis, stiller derfor store krav til at dysens spredbillede og forstøvning momentant er korrekt. Den biologiske effekt samt præcisionen ved bekæmpelse af ukrudt i små celler med anvendelse af kommercielle dyser har derfor stor betydning for potentialet ved celledsprøjtning.

5.1 Forsøgsdesign

5.1.1 Dokumentation af ukrudtseffekt ved ændret dysehøjde

Under denne aktivitet blev der indledningsvis gennemført fire markforsøg i maj 2006 på Forskningscenter Flakkebjerg. Hør blev brugt som testukrudt. Hørrer blev udsået på tværs af sprøjteretningen for at sikre, at der var testplanter i hele båndbredden.

I forsøgene blev forskellige potentielle dyser testet effektmæssigt ved anvendelse til båndsprøjtning i ti cm brede bånd. De testede dyser var udvalgt fra laboratoriemålingerne, og effektmæssigt blev dyserne sammenlignet med effekten opnået ved bredsprøjtning med en anbefalet standarddyse. Der blev sprøjtet med en doseringsrække af Roundup Bio, i alt fem doseringer, for at opnå suboptimale bekæmpelseseffekter hvor eventuelle forskelle mellem de testede dyser vil være observerbare.

I alt blev testet 20 dyse/tryk kombinationer til båndsprøjtning i ti cm bånd i forhold til standard bredsprøjtning. Undersøgelsen blev gennemført som randomiserede forsøg med 4 gentagelser pr. behandling. Der blev anvendt en højde over jord, som ved det anvendte tryk gav en båndbredde på ti cm i de målingerne nævnt i kapitel fire.

Forsøgsbehandling blev udført på hør på kimbladsstadiet med en selvkørende parcellsprøjte. Ca. tre uger efter forsøgsbehandling blev der foretaget telemåling i et af forsøgene. Ved telemåling registreres indstråling og refleksion af lys i det røde og i det nærinfrarøde spektrum. Forholdet mellem indstråling og refleksion giver et direkte mål for fotosynteseaktivt plantemateriale på det

område, der måles på. I forsøg med udsæet testukrudt i renbestand vil telemålingen således være direkte relateret til biologisk effekt af det anvendte middel/dosering.

I juni/juli 2006 blev gennemført et semifield forsøg, hvor ti potentielle dyser blev testet effektmæssigt anvendt som båndsprøjtningdyser med ti cm båndbredde. Disse dyser og den højde, de skulle anvendes i, for at opnå ti cm båndbredde, var udvalgt på baggrund af laboratoriemålingerne. I dette forsøg indgik ligeledes bredsprøjtning med en kendt standard som reference. To forskellige herbicider blev benyttet, det systemiske herbicid Roundup Bio med aktivstoffet glyphosat, samt kontaktmidlet Oxitril CM med aktivstofferne ioxynil/bromoxynil. Doseringsrækkerne blev tilført i alt fem doseringer af hvert herbicid, med fire gentagelser pr. behandling. Som testplante var valgt kamille dyrket i små kvadratiske potter med en overflade på 10 x 10 cm.

Planterne blev dyrket i en blanding af jord og sphagnum tilsat alle nødvendige næringsstoffer. Der blev sæet ca. ti frø pr. potte, som før forsøgssprøjtning blev tyndet ned til 4 planter pr potte. Ved udtyndingen blev det tilstræbt at de 4 planter størrelsesmæssigt var så ensartede som muligt. Under hele forsøgsperioden var potterne placeret udendørs på borde med undervanding. Forsøgssprøjtningen blev udført på kimplantestadiet i en specialkonstrueret pottesprøjte, hvor afstand mellem dyse og sprøjtemål kan stilles kontinuert. Der blev anvendt en centralt placeret dyse, og når potten var placeret præcist i pottesprøjten dækkede det behandlede ti cm bånd netop hele potten. Tabel 4 viser en oversigt over de testede dyser med indstillinger og væskemængder.

Cirka tre uger efter forsøgsbehandling blev forsøget gjort op med registrering af frisk- og tørvægt af kamille.

Tabel 4. Testede dyser, dyseydelse, højde, båndbredde samt væskemængde

Dyse	Dyse-ydelse l/min	Dyse- højde cm	Bånd- bredde cm	Væskemængde l/ha ¹
Hardi LD015	0,6	50	Bredspr.	120
TeeJet TP-4001E	0,39	13,7	10	76 (380)
TeeJet U-0033 (15°)	0,13	38	10	26 (130)
TeeJet U-0067 (15°)	0,26	38	10	52 (260)
TeeJet U-01 (15°)	0,39	38	10	78 (390)
TeeJet U-015 (15°)	0,59	38	10	118 (590)
TeeJet U-0033 (25°)	0,13	22,6	10	26 (130)
TeeJet U-0067 (25°)	0,26	22,6	10	52 (260)
TeeJet U-01 (25°)	0,39	22,6	10	78 (390)
TeeJet U-015 (25°)	0,59	22,6	10	118 (590)
DG-4015E	0,59	4,6	10	118 (590)

¹ Tallet i parentes angiver den effektive væskemængde pr. ha i det sprøjtede bånd

5.1.2 Dokumentation af ukrudtseffekt ved brug af on/off regulerede dyser

Undersøgelser af effekt og præcision ved anvendelse af on/off-regulerede dyser til behandling af celler blev indledt i efteråret 2006, hvor der blev gennemført to forsøg. I foråret 2007 blev udført yderligere fire forsøg med on/off-regulerede dyser. Alle forsøg blev udført under semifield-forhold. Som plantemateriale blev fremdrevet lugtløs kamille i rektangulære bakker med en størrelse på 24,7 x 18,3 cm i overfladeareal. Lugtløs kamille blev valgt som

testplante da arten har en vækstform, som gør det relativt nemt at adskille plantematerialet fra de forskellige delarealer, hvor der blev målt effekt.

Der blev udsået kamille i et kvadratisk mønster med en indbyrdes afstand på 2,03 cm mellem rækker og kolonner. To frø blev udsået pr. plads og tyndet ned til en plante pr plads før forsøgsbehandling, der blev gennemført på kimplantestadiet.

I de fire af forsøgene blev effekten ved celledsprøjtning med en enkelt dyse testet, eventuelt sammenlignet med effekten ved bredsprøjtning. I alle forsøg var det tilstræbt at sprøjte en celle på 10 x 10 cm. Forsøgsbehandlingen blev gennemført i en sprøjtebane, monteret med en enkelt testdyse placeret i den dysehøjde, som ud fra de tekniske laboratoriemålinger skulle give en cellebredde på ti cm. Ligeledes blev der anvendt en åbningstid, som ved den anvendte kørehastighed skulle give en cellelængde på ti cm. Ud fra testkørsler med vandfølsomt papir blev bakkerne med plantemateriale placeret således at den sprøjtede celle skulle ramme det centrale af bakken. På sprøjtebanen blev anvendt to kørehastigheder, 1 m/s og 2 m/s. Behandlingen blev foretaget med tre doseringer af Roundup Bio samt fire gentagelser pr behandling.

I forsøgene, hvor der indgik en reference, blev anvendt en LD-015 lowdrift dyse ved en væskemængde på 200 l/ha, og igen ved anvendelse af de samme tre doseringer af Roundup Bio. Ca. tre uger efter forsøgsbehandlingen blev forsøget gjort op med høst af plantemateriale, som blev foretaget ved høst på delarealer i plantebakkerne (illustreret i figurene nedenfor). I de to forsøg i efteråret 2006 var dysen placeret over rækkemellemrummet mellem de to centrale planterækker. I det første forsøg blev der høstet planter på et rektangel på 8 x 10 cm, med 8 cm i bredden og 10 cm i længden.

4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	3	3	3	3	3	3	3	3	4
4	3	2	2	2	2	2	2	3	4
4	3	2	1	1	1	1	2	3	4
4	3	2	1	1	1	1	2	3	4
4	3	2	1	1	1	1	2	3	4
4	3	2	2	2	2	2	2	3	4
4	3	3	3	3	3	3	3	3	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Figur 34. Illustration af høstede delarealer i plantebakker efter celledsprøjtning med tilstræbt celledstørrelse på 10 x 10 cm. Hvert kvadrat i figuren illustrerer en kamilleplante, og kvadratstørrelsen er cirka 2,03 cm x 2,03 cm.

I det andet forsøg blev der høstet på 3 delarealer i plantebakkerne. Delareal 1 (vist med **1** i figur 34) bestod af den centrale del af den sprøjtede celle med et areal på 8,1 x 8,1 cm. Delareal 2 (vist med **2** i figur 34) bestod af planterne i næste række uden for delareal 1 og bestod således af plantematerialet fra en

celle med et areal på 12,2 x 12,2 cm minus det centrale 8,1 x 8,1 cm. Delareal 3 (vist med 3 i figur 34) bestod af planterne i næste række uden for delareal 2 og bestod således af plantematerialet fra en celle med et areal på 14,2 x 14,2 cm, minus det centrale 12,2 x 12,2 cm.

I 2007 var dysen placeret direkte over en centralt placeret planterække, og der blev foretaget følgende opdeling i delarealer ved høst: Delareal 1 bestod af den centrale del af den sprøjtede celle med et areal på ca. 6,1 x 6,1 cm, i alt ni planter. Delareal 2 bestod af planterne i næste række uden for delareal 1 og bestod således af plantematerialet fra en celle med et areal på 10,2 x 10,2 cm, minus det centrale 6,1 x 6,1 cm, i alt 16 planter. Da planterne er placeret midt i cellen skal alle planter i dette delareal ligeledes være behandlet ved korrekt indstillet dyse. Delareal 3 bestod af planterne i næste række uden for delareal 2 og bestod således af plantematerialet fra en celle med et areal på 14,2 x 14,2 cm, minus det centrale 10,2 x 10,2 cm, i alt 24 planter. Delareal 4 blev ikke høstet, da det i begge delforsøg blev vurderet at dette delareal ikke var påvirket af celledsprøjtningen. De høstede delarealer i 2007 er illustreret i figur 35.

4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	3	3	3	3	3	3	3	4
4	3	2	2	2	2	2	3	4
4	3	2	1	1	1	2	3	4
4	3	2	1	1	1	2	3	4
4	3	2	1	1	1	2	3	4
4	3	2	2	2	2	2	3	4
4	3	3	3	3	3	3	3	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4

Figur 35. Illustration af høstede delarealer i plantebakker efter celledsprøjtning med tilstræbt celledstørrelse på 10 x 10 cm. Hvert kvadrat i figuren illustrerer en kamilleplante, og kvadratstørrelsen er cirka 2,03 cm.

I de to sidste forsøg i efteråret 2007 blev celledsprøjtning gennemført med to dyser med henblik på at teste samtidig sprøjtning af to naboceller. I det første forsøg indgik alene test af celledsprøjtning med to forskellige even-dyser, mens der i det anden forsøg blev sammenlignet med effekten med bredsprøjtning i de samme celleområder. Samme type plantemateriale blev anvendt, samme dyrkning etc. som i de fire foregående forsøg og igen med behandling på kimplantestadiet med tre doseringer af Roundup Bio og fire gentagelser pr. forsøgsled. For at opnå de tilstræbte væskemængder og celledbredder blev dyseydelse og dysehøjde valgt ud fra laboratoriemålingerne. Ved høst af forsøgene blev der foretaget en opdeling i delområder, hvilket er vist i figur 36.

4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
4	3	1	1	1	2	2	1	1	1	3	4
4	3	1	1	1	2	2	1	1	1	3	4
4	3	1	1	1	2	2	1	1	1	3	4
4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Figur 36. Illustration af høstede delarealer i plantebakker efter celledsprøjtning af 2 naboceller hver med en tilstræbt celledstørrelse på 10 x 10 cm. Hvert kvadrat i figuren illustrerer en kamilleplante, og kvadratstørrelsen er cirka 2,03 cm x 2,03 cm.

Delområde 1 er den centrale del af de to celler, der hver bestod af ni planter og blev høstet samlet, dvs. i alt 18 planter. Delområde 2 er grænsezone mellem de to celler med i alt seks planter, som blev høstet samlet. Delområde 3 og 4 blev ikke høstet i disse forsøg.

I de anvendte forsøgsopstillinger er dyseydelsen (og dermed væskemængde og herbiciddosering) afhængig af åbningstid, og dermed er det meget vanskeligt at kalibrere de testede dyser til en nøjagtig dyseydelse. De anvendte dyser med angivelse af dyseydelse, dysehøjde etc. er angivet i tabel 5.

Tabel 5. Oversigt over anvendte dyser i 2007 med angivelse af dyseydelse, dysehøjde og væskemængde

Forsøg Nr.	Dyse	Dyseydelse l/min	Dysehøjde cm	Væske- mængde (l/ha) ved 1 m/s	Væske- mængde (l/ha) ved 2 m/s
612/07	Hardi LD-015 reference bredsprøjtning	0,6	50	200	
612/07	TeeJet TP-4001E	0,181	34	314	159
612/07	TeeJet 6501-E	0,181	15	313	
620/07	LD-015 reference bredsprøjtning	0,6	50	200	
620/07	TeeJet TP-4001E	0,216	25	385	197
620/07	TeeJet 6501-E	0,213	12	370	
624/07	TeeJet TP-4001E	0,216	25	385	
624/07	TeeJet 6501-E	0,213	12	370	
626/07	Hardi LD-015 reference bredsprøjtning	0,55	50	183	
626/07	TeeJet TP-4001E	0,216	25	385	

Da de målte biologiske effekter ved cellebehandlinger vil være påvirket af usikkerheden i dyseydelsen er der i forbindelse med sprøjtningen foretaget yderligere en sprøjtning med samme opstilling. Ved den ekstra sprøjtning er der anvendt sporstof opsamlet på papirobjekter placeret i de samme delarealer som blev anvendt ved høst af plantemateriale fra cellerne. Disse målinger er

foretaget med henblik på at kunne dokumentere de anvendte doseringer. Efter sprøjtning er papirobjekterne indsamlet, sporstoffet er vasket af objekterne, og koncentrationen af sporstof i de enkelte prøver er bestemt.

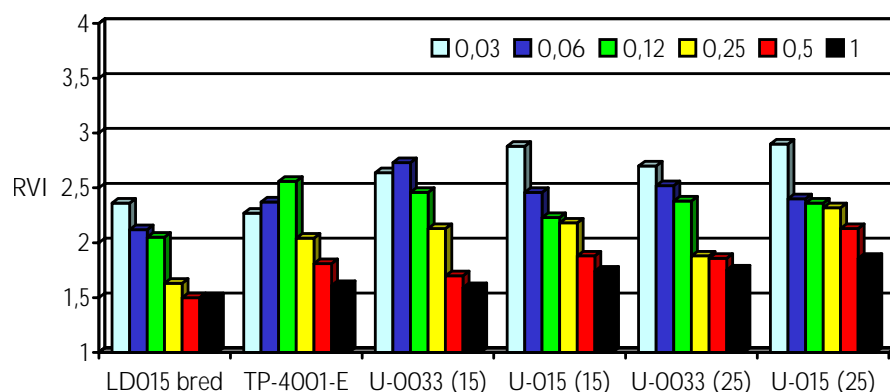
5.2 Dokumentation af ukrudtseffekt

5.2.1 Dokumentation af ukrudtseffekt ved ændret dysehøjde

Markforsøgene med båndsprøjtning i 10 cm båndbredde med potentielle dyser i forhold til bredsprøjtning med standarddyser var planlagt at skulle opgøres ved telemåling. Dette giver en langt større kapacitet end alternativet i form af manuel høst af friskvægt i parcellerne. Telemåling har hidtil primært været anvendt ved opgørelse af forsøg med bortsprøjtning af testukrudt efter bredsprøjtning, hvor metoden er meget hurtig og sikker. Telemåling har tidligere været anvendt i et projekt til bedømmelse af effekter efter båndsprøjtning, og her viste der sig metodemæssige problemer. Før anvendelsen i dette projekt var det antagelsen at det var muligt at løse disse problemer.

Telemåleren består af sensorer, der måler den indkommende stråling og den reflekterede stråling. Den reflekterede stråling måles på et cirkulært areal, hvis radius bestemmes af højden over jord. Ved at sænke sensoren skulle det således teoretisk være muligt at afgrænse måleområdet til en cirkel med en radius indenfor båndbredden på 10 cm. På tidspunktet, hvor målingen foretages for at bedømme effekt af forsøgsbehandlingen, vil de planter, der står lige uden for det sprøjtede 10 cm bånd, imidlertid have opnået en sådan størrelse, at en del af plantematerialet hænger ind over det behandlede bånd. På det udstyr hvor telemåleren er monteret, blev der derfor konstrueret en kombineret slæde og afskærmning, som sørgede for at holde naboplantemateriale væk fra båndet under målingen og samtidig skærmede yderligere i et område omkring målestedet. Det var antagelsen at ved at fjerne denne plantemasse fra båndet under telemålingen, samt refleksion iøvrigt fra nærområdet, ville være muligt at anvende telemåling som opgørelsesmetode i forsøgene.

Selvom udstyret til afskærmning fungerede, stemte telemålingsresultatet ikke overens med visuelle vurderinger af effekten på samme areal. I højeste dosering, hvor der ved visuel bedømmelse ofte var fuld effekt ved såvel båndsprøjtning som bredsprøjtning, afveg telemålingsresultatet således mellem de to behandlinger. Der blev derfor kun gennemført telemåling i et af de fire forsøg, da resultaterne ved telemåling ikke var troværdige og det tidsmæssigt ikke var muligt at justere telemåleren, så der var overensstemmelse mellem visuelle bedømmelser og telemåling. Resultatet fra det ene forsøg er vist i figur 37.



Figur 37. Telemåling i forsøg med undersøgelse af effekt med dyser anvendt til sprøjtning af 10 cm bånd i forhold til bredsprøjtning. LD015 er anvendt til bredsprøjtning, de øvrige 5 dyser til 10 cm bånd. En RVI værdi på 1,5 angiver bar jord = 100% effekt. Der er anvendt 5 doseringer af Roundup Bio, med højeste dosering på 2 l/ha = "1".

Som det fremgår af figur 37 viste resultatet ved telemåling at de 5 dyser, der blev testet som båndsprøjtningdyser i 10 cm bånd, alle var væsentligt svagere effektmæssigt end bredsprøjtning med en standarddyse. Dette var ikke i overensstemmelse med de visuelle vurderinger, hvor der ved højeste dosering ofte ikke var plantemateriale i båndet, men alligevel blev opnået et telemålingsresultat (RVI), som afveg væsentligt fra det, der blev opnået i en ren parcel efter bredsprøjtning. Opfølgningen på undersøgelser af effekt ved ændret dysehøjde blev derfor gennemført i semifield i små potter, hvor båndbredde svarede til pottebredden. Effekten blev bedømt ved måling af frisk- og tørvægt af de sprøjtede kamilleplanter. Resultaterne fra disse forsøg er vist i tabel 6 og tabel 7 med henholdsvis Roundup Bio og Oxitril CM.

Tabel 6. Friskvægt af kamille (g/potte) 3 uger efter behandling med Roundup Bio ved bredsprøjtning eller båndsprøjtning i 10 cm bånd. Ubehandlet=11,6 g

Dyse	Dosering af Roundup Bio (l/ha)				
	0,45	0,225	0,11	0,056	0,028
Hardi LD015	0,015	3,11	4,43	6,16	8,71
TeeJet TP-4001E	1,88	9,66	8,83	11,88	11,6
TeeJet U-0033 (15 ⁰)	0,39	3,71	8,16	13,29	15,92
TeeJet U-0067 (15 ⁰)	1,40	4,91	10,63	13,93	15,55
TeeJet U-01 (15 ⁰)	1,70	5,04	10,48	11,52	12,18
TeeJet U-015 (15 ⁰)	1,68	6,65	10,47	9,79	14,33
TeeJet U-0033 (25 ⁰) ¹	0,403	1,68	6,55	11,86	11,28
TeeJet U-0067 (25 ⁰)	0,50	6,49	10,03	12,65	13,15
TeeJet U-01 (25 ⁰)	1,32	4,59	12,21	11,74	13,35
TeeJet U-015 (25 ⁰)	2,38	3,80	10,70	13,37	14,35
DG-4015E	3,59	4,99	7,21	6,80	12,36
LSD ($P = 0,05$) ²	1,60	2,04	3,90	2,04	Ns

¹ Med denne dyse blev der fejlagtigt anvendt 38 cm højde i stedet for 22,6 cm. Dermed opnås en større båndbredde og næsten en halvering af dosis.

² LSD-værdien er et udtryk for hvor stor forskel i effekt der skal være mellem dyserne, for at de er signifikant forskellige. Hvis forskellen i friskvægten mellem to dyser er den samme som eller større end LSD-værdien, er forskellen signifikant (statistisk sikker). I modsat fald er forskellen usikker (Ns = not significant)

Tabel 7. Friskvægt af kamille (g/potte) 3 uger efter behandling med Oxitril CM ved bredsprøjtning eller båndsprøjtning i 10 cm bånd. Ubehandlet = 11,6 g

Dyse	Dosering af Oxitril CM (l/ha)				
	0,5	0,25	0,12	0,06	0,03
Hardi LD015	0,44	2,22	7,43	10,88	10,62
TeeJet TP-4001E	0,18	3,09	9,22	10,15	9,48
TeeJet U-0033 (15°)	0,0	3,97	5,00	10,48	8,20
TeeJet U-015 (15°)	0,00	2,54	11,46	10,66	12,56
TeeJet U-0033 (25°)	0,00	1,20	9,06	9,48	10,24
LSD ($P = 0.05$) ¹	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns

¹LSD-værdien er et udtryk for hvor stor forskel i effekt der skal være mellem dyserne, for at de er signifikant forskellige. Hvis forskellen i friskvægten mellem to dyser er den samme som eller større end LSD-værdien, er forskellen signifikant (statistisk sikker). I modsat fald er forskellen usikker (Ns = not significant)

Som det fremgår af tabellerne blev der fundet en del signifikante forskelle i effekt mellem dyserne i den del, hvor der blev anvendt Roundup Bio. Flere af de testede dyser til båndsprøjtning har således virket lidt svagere i forhold til bredsprøjtning med en standard dyse. Forskellene er dog relativt begrænsede i forhold til effekten ved doseringsændring. TeeJet U-0033 med 25° spredevinkel blev fejlagtigt anvendt ved for stor dysehøjde ved sprøjtningen med Roundup Bio. Det betyder, at den effektive dosering har været næsten halveret i forhold til det tilstræbte. Resultaterne er ikke korrigeret i forhold til dette, da det ikke er givet at dysen vil give så god en effekt som umiddelbart forventet, såfremt den havde været anvendt ved den korrekte, lave dysehøjde.

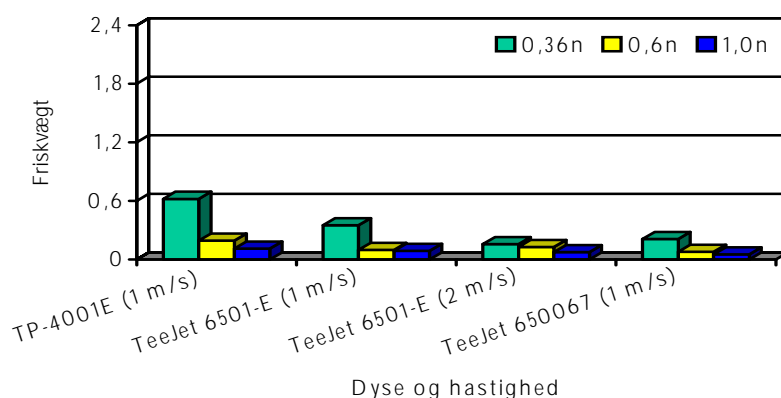
I forsøgsdelen med Oxitril CM er der ikke fundet forskelle i effekt mellem bredsprøjtning med den valgte standarddyse og de testede bånddyser ved sprøjtning i 10 cm bånd.

5.2.2 Dokumentation af ukrudtseffekt ved brug af on/off regulerede dyser

5.2.2.1 Cellesprøjtning med 1 dyse

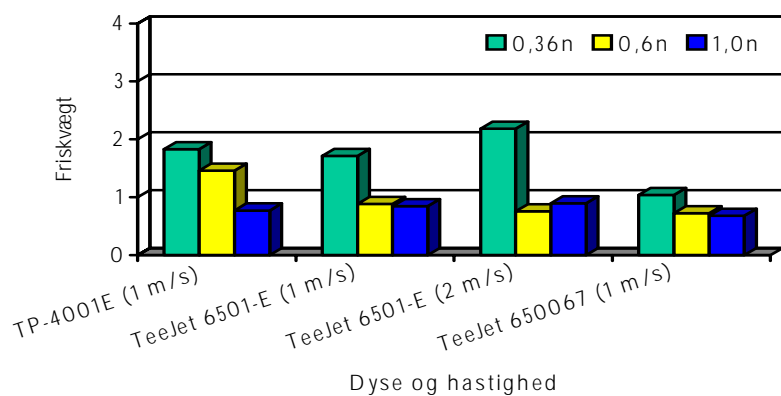
I det første forsøg med on/off-regulerede dyser blev doseringerne beregnet ud fra en kontinuert målt dyseydelse, der var det eneste ydelsestal til rådighed på det tidspunkt. Ved sprøjtning med dyserne er dysen kun åben 1/10 sekund for at sprøjte 10 cm ved en hastighed på 1 m/s, og i dette interval nåede ydelsen ikke den værdi, der var målt ved kontinuert sprøjtning. Yderligere blev de tilstræbte båndbredder ikke opnået, hvilket fremgik ved sprøjtning på vandfølsomt papir samt de celler, der fremkom som resultat af sprøjtningen i plantebakkerne. I forsøget blev der foretaget høst af en celle med en bredde på 8 cm og en længde på 10 cm. Resultaterne fra dette forsøg kan derfor ikke anvendes til at sammenligne de testede dyser, da der ikke er anvendt sammenlignelige doseringer i de høstede celler og resultaterne ikke er medtaget her.

I det efterfølgende forsøg med on/off-regulering blev der høstet plantemateriale på 3 delarealer. Resultaterne fra dette er vist i figur 38-40. I figur 38 er vist friskvægtsmålingen fra den centrale del af cellen. De fundne værdier svarer til, at der er opnået effekter på 95-98% ved den højeste dosering og på 75-95% ved den laveste dosering. Der er små forskelle mellem dyserne, og effekten ved 2 m/s har været fuldt på højde med effekten ved 1 m/s.



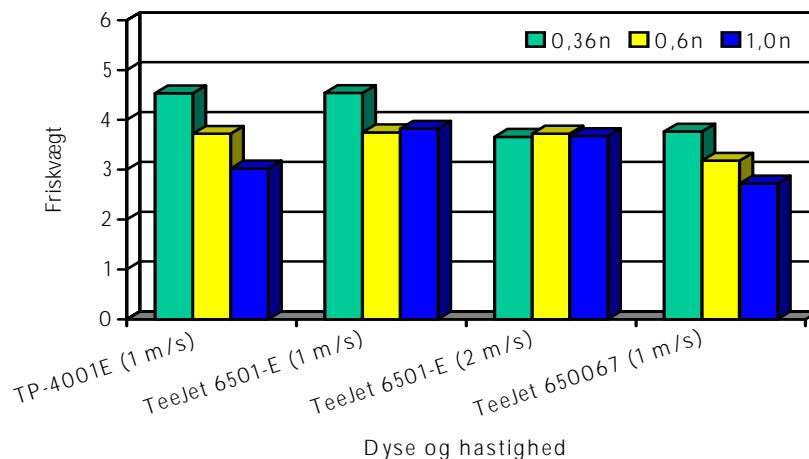
Figur 38. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra de centrale 8,1 x 8,1 cm. Ubehandlet på samme areal = 2,36 g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = 0,041$. $LSD_{dos0,6} = 0,089$. $LSD_{dos0,36} = 0,26$.

Figur 39 viser friskvægtsmålingen i delareal 2, der udgør randområdet for den sprøjtede celle. På dette delareal vil planter være placeret lige på skellinien for en 10 x 10 cm stor celle. Det fremgår af figuren, at der er opnået en effekt på 75-80% ved højeste dosering, og en effekt på ca 50-75% ved den laveste dosering.



Figur 39. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra delareal 2 med et areal på 12,2 x 12,2 cm fratrukket delareal 1 på 8,1 x 8,1 cm. Ubehandlet på samme areal = 3,91 g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = ns$. $LSD_{dos0,6} = 0,12$. $LSD_{dos0,36} = ns$.

I figur 40 er vist resultaterne fra det 3. delareal, som er planterækken lige udenfor den tilstræbt sprøjtede celle. Effekter på planter i dette område vil således være at betragte som et tab af sprøjtevæske. Ved den højeste dosering er den maksimalt fundne effekt på 50% og ved den laveste dosering er den maksimalt fundne effekt ca. 30%. Når man tager hensyn til doseringskurvens forløb for et middel som glyphosat, vil der reelt være tale om en meget lille andel af den anvendte dosering der har ramt dette område.



Figur 40. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra delareal 3 med et areal på $16,3 \times 16,3$ cm fratrukket delareal 1 og 2 på $12,2 \times 12,2$ cm. Ubehandlet på samme areal = $5,41$ g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = 0,81$. $LSD_{dos0,6} = ns$. $LSD_{dos0,36} = ns$.

Effekten i delareal 3 fremkommer primært pga. en kort "hale" inden båndet når fuld bredde, samt igen når dysen lukkes ved cellens slutning. Cellen kommer derfor til at fremstå let afrundet som det fremgår af figur 41.



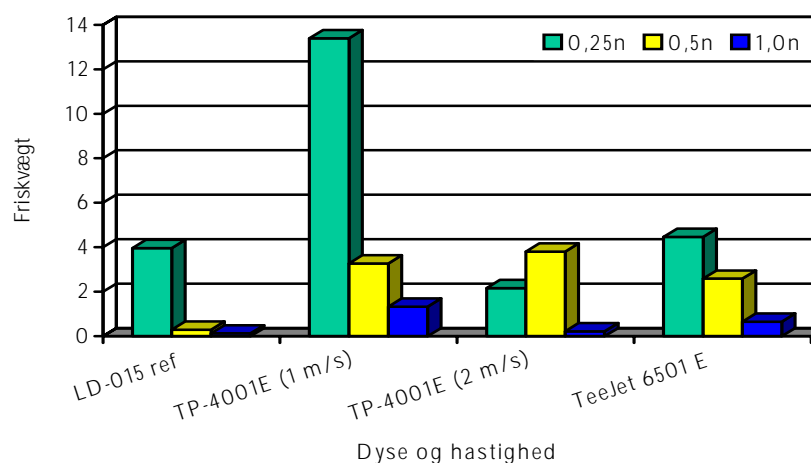
Figur 41. Billedet viser en bakke med kamille planter ved høst. Der er sprøjtet en celle med en tilstræbt størrelse på 10×10 cm i centrum af bakken

I 2007 blev gennemført to forsøg, hvor effekten ved celledsprøjtning med en enkelt dyse blev sammenlignet med den effekt, der opnås ved en standard bredsprøjtning. I begge forsøg indgik to even spray-dyser, der blev sammenlignet med effekten ved en bredsprøjtning med en normalt anvendt sprøjteteknik. Den ene even spray-dyse (TP-4001E) blev testet ved kørehastigheder på såvel 1 m/s som 2 m/s, mens den anden even spray-dyse, (TeeJet 6501 E), kun blev testet ved den 1 m/s. Ved bredsprøjtning blev der anvendt den lave kørehastighed på 1 m/s.

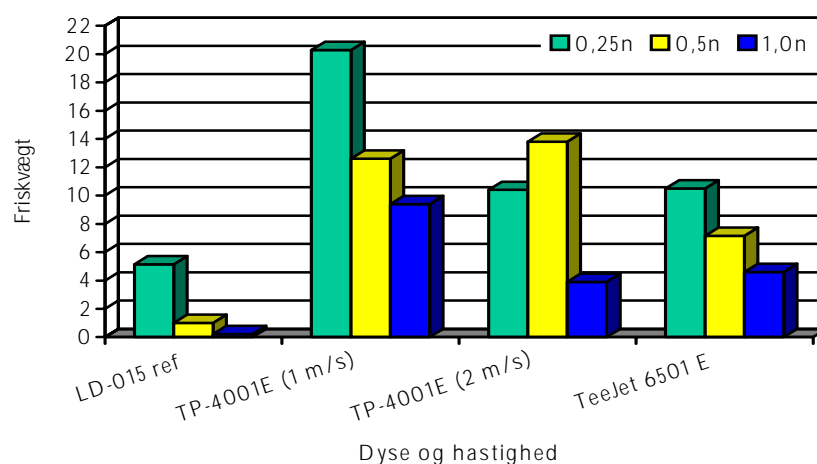
Forsøgene er opgjort i de 3 delarealer som illustreret i figur 35. Friskvægtsresultaterne for det første forsøg er vist i figur 42-44. I figur 42 er friskvægten i den centrale del af cellen registreret. Effekten ved anvendelse af TP-4001E dysen har givet en svagere effekt ved den lave kørehastighed på 1 m/s end ved en hastighed på 2 m/s. Med Teejet 6501E dysen er opnået effekter på samme niveau som med TP-4001E ved 2 m/s.

I forhold til bredsprøjtning er opnået en svagere effekt ved de tre prøvede indstillinger af dyser til celledsprøjtning. Mest markant er resultatet af TP-4001E ved 1 m/s, mens der er mindre, men dog signifikante forskelle i forhold til TP-4001E ved 2 m/s og TeeJet 6501 E dysen. I delareal 2 (figur 43), der i de celledsprøjtede behandlinger omfatter planter i grænseområdet lige indenfor den tilstræbt sprøjtede celle, var effekten generelt svagere med de tre testede celledsprøjtindstillinger. Det tyder på, at den tilstræbte cellebredde ikke er blevet opnået med den kombination af dysehøjde og dysetryk, sprøjtebanen var indstillet til. Resultatet er dog i overensstemmelse med de visuelle bedømmelser af befugtning, der blev konstateret i forbindelse med sprøjtningen.

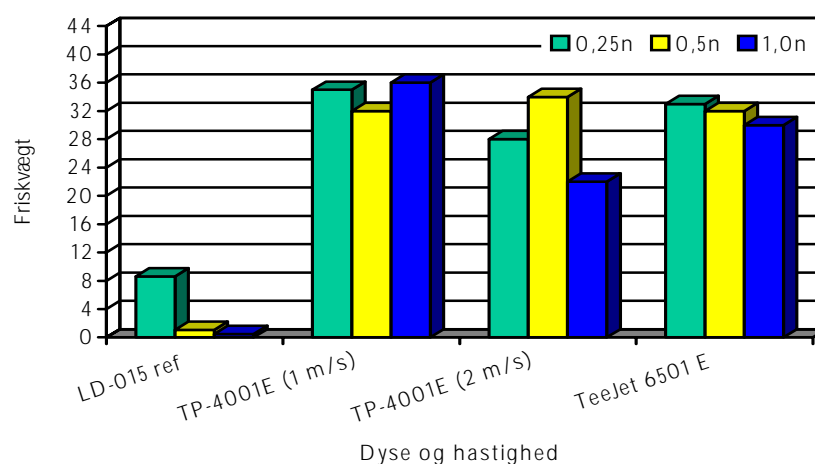
Ved den højeste dosering af Roundup Bio er der med TP-4001E ved 2 m/s og TeeJet 6501E ved 1 m/s kun opnået effekter på samme niveau som med bredsprøjtning med $\frac{1}{4}$ af max doseringen. Delareal 3 omfatter planter lige uden for det tilstræbt behandlede areal ved celledsprøjtningen. Figur 44 viser, at de friskvægtsresultater, der er registreret i behandlingerne med celledsprøjtning, ikke afviger fra ubehandlet. Det er måske heller ikke så overraskende set i lyset af at effektniveauet allerede var væsentligt reduceret i delareal 2 i grænseområdet inde i cellen. Effekten ved bredsprøjtning ligger på niveau med målingerne i de to andre delarealer.



Figur 42. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra de centrale $6,1 \times 6,1$ cm. Ubehandlet på samme areal = $12,05$ g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = 0,037$. $LSD_{dos0,5} = 2,10$. $LSD_{dos0,25} = 2,24$. Delforsøg 1



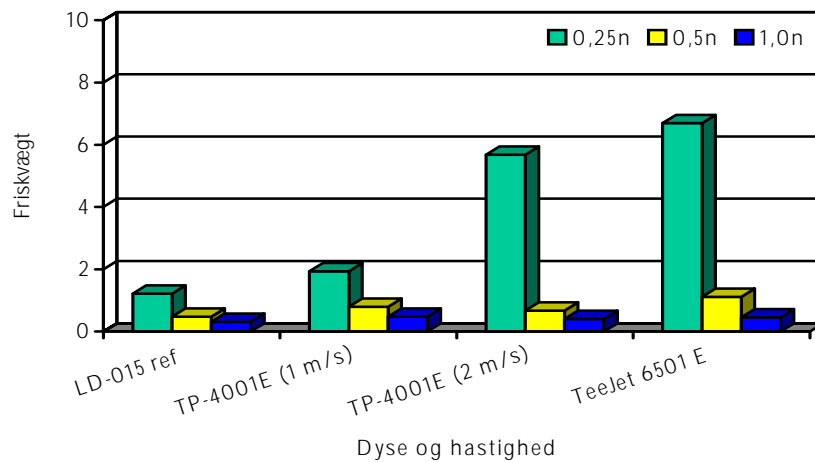
Figur 43. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra det indre grænseområde af cellen. Ubehandlet på samme areal = 16,50 g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = 2,14$. $LSD_{dos0,5} = 2,62$. $LSD_{dos0,25} = 2,67$. Delforsøg 1.



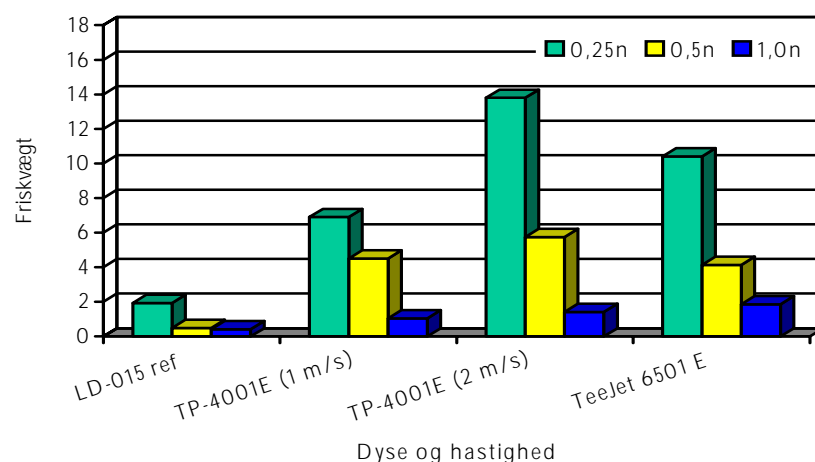
Figur 44. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra delområde 3 lige uden for cellen. Ubehandlet på samme areal = 34,62 g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = 7,17$. $LSD_{dos0,5} = 5,93$. $LSD_{dos0,25} = 6,92$. Delforsøg 1.

I det andet forsøg, hvor effekten ved celledbehandling med en enkelt dyse blev sammenlignet med effekten ved bredsprøjtning, blev der målt på effekt i de samme delarealer. Figur 45 viser friskvægtsresultaterne fra den centrale del af cellen. Der er væsentligt mindre forskelle mellem de fire behandlinger end i det første forsøg. Ved den højeste dosering er der således ikke registreret signifikante forskelle, og i anden dosering er der kun forskel på bredsprøjtning og TeeJet 6501E med den bedste virkning af bredsprøjtning. Ved den laveste dosering har bredsprøjtning virket bedre end såvel TP-4001E ved 2 m/s som TeeJet 6501E. I dette delforsøg har der således ikke været nogen signifikante forskelle mellem bredsprøjtning og TP-4001E dysen i nogen af de tre doseringer.

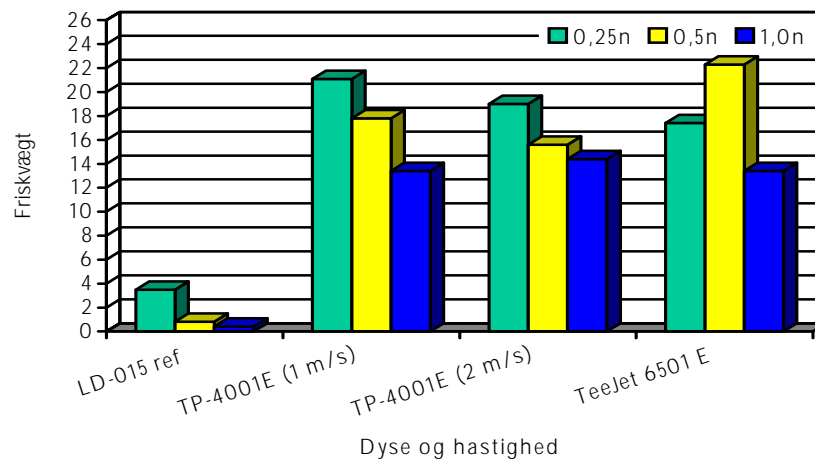
I delareal 2 (Figur 46) har der været en svagere virkning af de tre cellesprøjtning behandlinger, og ved flere af behandlingerne er opnået en signifikant svagere virkning end af bredsprøjtning. I delareal 3 (figur 47) blev der kun registreret signifikant effekt af cellebehandlingen ved anvendelse af den højeste dosering, mens der var mindre, men ikke sikre reduktioner i friskvægt ved de to lave doseringer. Der er således "spildt" en meget begrænset del af dosis udenfor den tilstræbt behandlede celles grænser. Dette skal dog igen ses i forhold til at virkningen af cellesprøjtning i delareal 2 var reduceret i forhold til resultaterne med samme dosering i delareal 1. Der er således ikke tale om en meget skarp kant. Derimod burde dysens højde og / eller tryk være reguleret, så effekten i delareal 2 var på højde med delareal 1. Dermed ville et større "spild" og mere virkning i delareal 3 være forventet.



Figur 45. Friskvægt af kamille ved cellesprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra de centrale $6,1 \times 6,1$ cm. Ubehandlet på samme areal = $9,90$ g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = ns$. $LSD_{dos0,5} = 0,41$. $LSD_{dos0,25} = 3,03$. Del forsøg 2.



Figur 46. Friskvægt af kamille ved cellesprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra det indre grænseområde af cellen. Ubehandlet på samme areal = $16,75$ g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = 0,69$. $LSD_{dos0,5} = 2,41$. $LSD_{dos0,25} = 6,33$. Del forsøg 2.

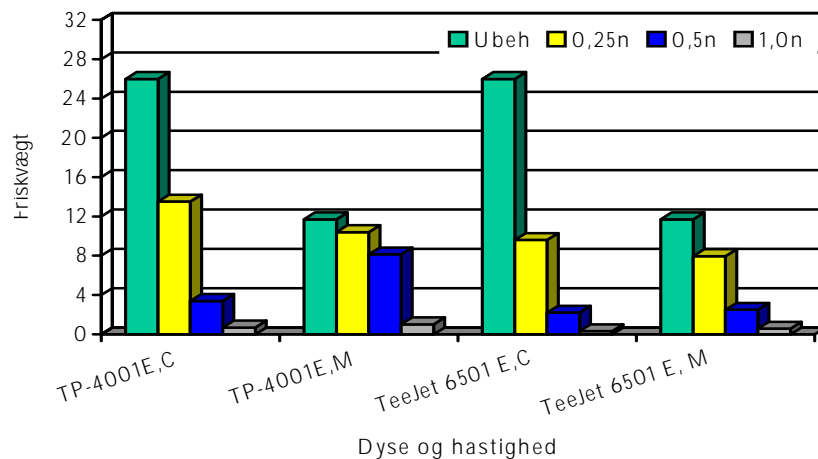


Figur 47. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Resultat fra delområde 3 lige uden for cellen. Ubehandlet på samme areal = 21,40 g (længde af Y-akse). $LSD_{dos1,0} = 4,2$. $LSD_{dos0,5} = 7,2$. $LSD_{dos0,25} = 7,7$. Delforsøg 2.

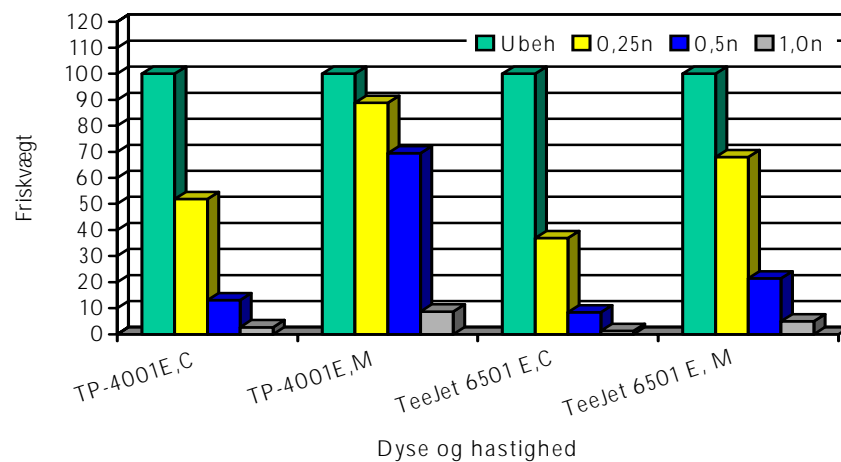
5.2.2.2 Celledsprøjtning med 2 dyser

To forsøg blev gennemført med en opstilling, hvor der var monteret to celledsprøjtningdyser på sprøjtebanen, og hvor begge blev aktiveret samtidig over en plantebakke for at behandle to naboceller i plantebakken. Hver celle havde igen en længde og bredde på 10 x 10 cm, og ved høst af plantemateriale blev plantebakken opdelt som vist i figur 36. I det første delforsøg indgik to even spray-dyser, og der var ikke medtaget en bredsprøjtningreference i forsøget. Resultaterne er sammenstillet i figur 48. Der er registreret friskvægt af planter i den centrale del af cellen, som udgøres af planter i to bånd i en bredde på 6 cm i cellens længderetning under de to dyser. Desuden er registreret friskvægt af planter i det område, der er placeret som grænseområde mellem de to sprøjtede celler illustreret med "2" i figur 36. I figuren er friskvægten af ubehandlede medtaget i doseringskurven.

Forskellen i friskvægt i ubehandlet i den centrale del af cellen og i området mellem de to dyser skyldes, at der er tale om forskellige arealstørrelser og plantetal. Det fremgår af figuren at der er opnået fine dosis responskurver for begge dyser ved registrering i den centrale del af de to behandlede celler. Det fremgår også, at der er en svagere dosisrespons i grænseområdet midt mellem de to dyser. Dette er tydeligere i figur 49, hvor friskvægt tallene er regnet om til % effekt., og hvor det fremgår, at effekten i grænseområdet mellem de to celler er reduceret mere, hvor der er anvendt to TP-4001E dyser, end hvor cellerne er behandlet med to TeeJet 6501E dyser. Den eneste signifikante forskel i forsøget mellem de to dyser er i anden dosering (0,5 n) i delareal M med en LSD værdi på 0,72.

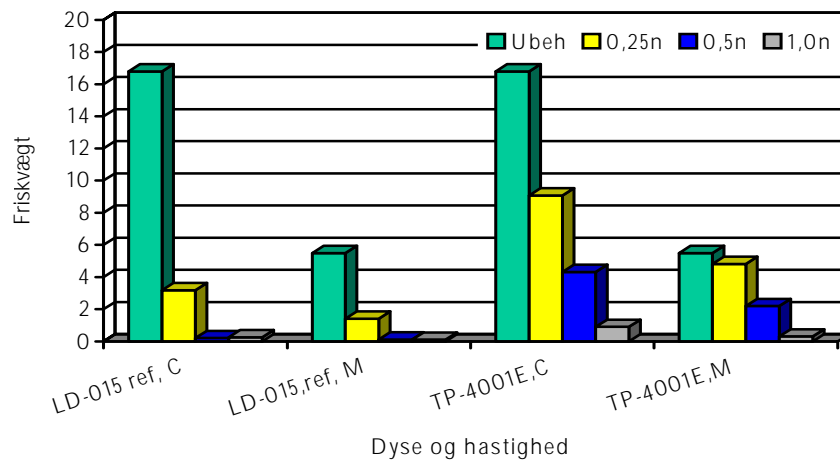


Figur 48. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Der er sprøjtet med 2 dyser og målt på friskvægt i et delareal centralt under dyserne (C) samt i et delareal midt mellem de to dyser (M) som vist i figur 36.



Figur 49. Effekt på kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Der er sprøjtet med 2 dyser og målt effekt på friskvægt i et delareal centralt under dyserne (C) samt i et delareal midt mellem de to dyser (M) som vist i figur 36.

I det andet forsøg, hvor der var monteret to celledsprøjtningdyser på sprøjtebanen med henblik på samtidig sprøjtning af to naboceller, blev anvendt TP-4001E dyser. Effekten ved cellebehandling blev sammenlignet med effekten opnået ved bredsprøjtning (Figur 50). Som det fremgår af figuren var friskvægtsresultaterne for TP-4001E dysen tilsvarende som i det foregående forsøg, med en god dosisrespons i den centrale del af cellen, og en svagere dosisrespons i grænseområdet mellem de to behandlede celler. Ved bredsprøjtning er der fundet en kraftigere dosisrespons, og resultatet med denne reference er ensartet i de to målte delarealer som det også forventes. I forhold til bredsprøjtning er der en svagere effekt med celledsprøjtning i den centrale del af de behandlede celler, og en væsentligt svagere effekt i grænseområdet af cellerne midt mellem de to celledsprøjtedyser.



Figur 50. Friskvægt af kamille ved celledsprøjtning med Roundup Bio i 3 doseringer ($n=0,45$ l/ha). Ved celledsprøjtning er der sprøjtet med to dyser og målt effekt på friskvægt i et delareal centralt under dyserne (C) samt i et delareal midt mellem de to dyser (M) som vist i figur 23. Med referencen, LD-015, er der foretaget bredsprøjtning af hele plantebakken og registreret friskvægt af kamille i samme delarealer som ved celledsprøjtning. LSD værdier for det centrale delareal (C) er: $LSD_{dos1,0} = 0,12$. $LSD_{dos0,5} = 1,23$. $LSD_{dos0,25} = 1,92$. LSD værdier for delarealet mellem de to dyser (M) er: $LSD_{dos1,0} = ns$. $LSD_{dos0,5} = 2,38$. $LSD_{dos0,25} = 1,64$

5.2.2.3 Måling af udsprøjtede mængder ved de afprøvede opstillinger

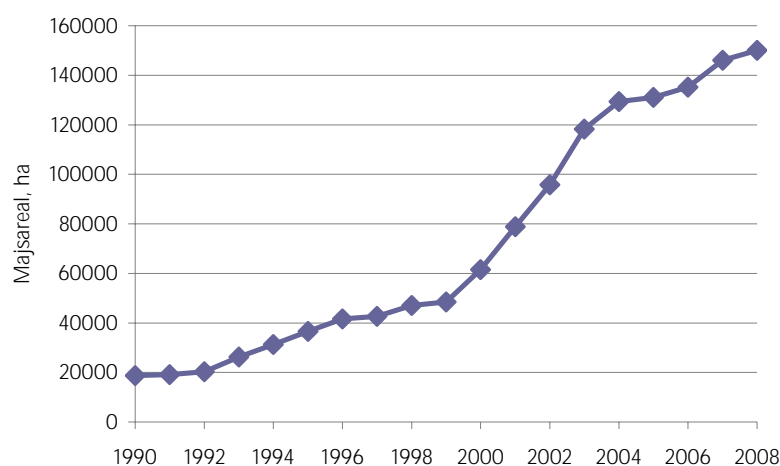
I forsøgene i 2007 med on/off regulerede dyser blev gennemført målinger af udsprøjtet koncentration af sporstof. Målingerne blev gennemført pga. vanskelighederne med at kalibrere dyserne til celledsprøjtning. Det skyldes, som tidligere nævnt, at dyseydelsen er afhængig af åbningstiden, og denne er meget kort ved celledsprøjtningen. Kalibreringen af dyser til de biologiske celledsprøjtningforsøg blev derfor gennemført på baggrund af en relation mellem den forventede dyseydelse ved den korte dyseåbningstid, og en målt dyseydelse ved kontinuert dyseflow. Disse målinger blev gennemført med samme dyser og tryk som i forsøgene, men i de fleste tilfælde tidsmæssigt forskudt. Det betød, at opstillingen havde været adskilt mellem effektmålingen og koncentrationsmålingen. I de to sidste forsøg blev sporstoffdelen dog gennemført i umiddelbar forlængelse af effektmålingen og med samme opstilling. Koncentrationen tre steder i det centrale område af cellen, samt to målinger i grænseområdet indenfor den tilstræbt behandlede celle blev målt og der blev foretaget to målinger i grænseområdet lige udenfor den tilstræbt behandlede celle.

Ved målingerne af udsprøjtet mængde blev der i referenceledet med bredsprøjtning fundet koncentrationer i de to forsøg, som ikke afveg fra den tilstræbt dosering. Derimod var den fundne koncentration i de målte celledsprøjtningbehandlinger lavere end den tilstræbt dosering. Dette gjaldt både de objekter, der målte koncentrationen i den centrale del af cellen lige under dysen, og i endnu mere udpræget grad de objekter, der var placeret nær grænsen i den tilstræbt sprøjtede celle. Sporstofkoncentrationen, der blev fundet udenfor den tilstræbt behandlede celle, var generelt lav. Med baggrund i disse målinger er det ikke muligt at beregne, hvilken procentdel af den tilstræbt dosering der rent faktisk er anvendt i den tilstræbt sprøjtede celle. Det kan blot konstateres, at de lidt svagere effekter der blev registreret ved celledsprøjtning i forhold til bredsprøjtning i hvert fald delvis skal tilskrives at den tilstræbt dosering ikke blev nået.

6 Analyse af ukrudtsbekæmpelse i majs

6.1 Majsdyrkning i Danmark

Majs er til dato næsten udelukkende blevet dyrket som "silomajs", der ensileres og benyttes som grovfoder til kvæg. Arealet med majs i Danmark er i perioden 1998-2008 mere end tredoblet, se figur 51. I samme periode er arealet med foderroer reduceret. Det betyder, at forbruget af bekæmpelsesmidler i majs i disse år bliver af større betydning for det nationale pesticidforbrug. I de allersene år har der desuden været en stigende interesse for dyrkning af majs til modenhed med henblik på anvendelse til svinefoder, hvilket er muliggjort af tendensen til et varmere klima i Danmark samt udvikling af nye sorter.



Figur 51. Samlet dyrket areal (ha) med majs i Danmark 1990-2008. Arealet for 2008 er et skøn. Kilde: Statistikbanken, Danmarks Statistik og Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret.

Majs dyrkes i praksis i rækker med 70-75 cm afstand. I etableringsfasen er majs meget følsom for påvirkninger fra omgivelserne, herunder kulde, fysisk skade og ikke mindst konkurrence fra ukrudt. Ukrudtsbekæmpelse i majs er derfor i praksis altid økonomisk fordelagtig, uanset om der anvendes kemiske eller andre bekæmpelsesmetoder. I danske markforsøg med ukrudtsbekæmpelse i majs bestemmes sædvanligvis ikke merudbytter, idet omkostninger til analyser er store. I 2006 blev der dog i en forsøgsserie målt udbytter, og her blev opnået merudbytter på 200-250 % for effektiv bekæmpelse af ukrudt (Oversigt over Landsforsøgene, 2006). Dette gælder både for mængden af den høstede vare og for kvalitetsegenskaberne (fordøjelighed mv.) i forbindelse med fodring af majs.

I praksis stilles store krav til effekten af ukrudtsbekæmpelsesindsatsen i majs, uanset om denne er kemisk (herbicer), termisk (gasbrænding benyttes i

økologisk produktion) mekanisk (radrensning) eller en kombination af flere metoder. I konventionel produktion af majs bekæmpes ukrudt på langt størsteparten af arealet (anslået 95-98 %) udelukkende med bredsprøjtning, mens der på de resterende 2-5 % af arealet benyttes en kombination af kemisk bekæmpelse og en afsluttende radrensning af majs. Båndsprøjtning anvendes stort set ikke i majs i Danmark. Ren ikke-kemisk bekæmpelse forekommer stort set heller ikke i konventionelt dyrket majs, men praktiseres naturligvis på de ca. 5000 ha. hvor der dyrkes økologisk majs.

Da der ofte går halvanden måned fra majsens såning til afgrøden er veletableret og i stand til at konkurrere med nyfremspiret ukrudt, er man i praksis nødt til at gennemføre bekæmpelsen i flere omgange. Tidligere, hvor den kemiske ukrudtsbekæmpelse var baseret på triazin-herbicer (f.eks. atrazin og terbuthylazin) med kombineret blad- og jordeffekt, var det ikke ualmindeligt at bekæmpe alt ukrudtet på én gang, når det største ukrudt var 10-15 cm højt. Denne praksis er imidlertid hverken forenelig med nutidens ønske om at anvende den mindst mulige kemiske indsats eller med udbuddet af kemiske midler i Danmark. Atrazin har siden 1995 været forbudt i Danmark og er i forbindelse med EU-revurderingen ikke optaget på bilag 1 til pesticiddirektivet, hvorfor det nu er forbudt i hele EU. Terbuthylazin er i Danmark ikke længere godkendt som rent produkt, men kun godkendt i begrænset dosis (max. 500 g terbuthylazin pr. ha pr. år) i blandinger med andre aktivstoffer.

Som følge af ovennævnte forhold planlægger de fleste landmænd sprøjteprogrammer med 3 eller sjældnere 4 behandlinger, hvor der anvendes reducerede herbicid-doser ved hver enkelt behandling, og hvor der i tilfælde af gunstige forhold for bekæmpelse og/eller gunstige vækstforhold for majs er mulighed for at undlade den sidste behandling eller evt. erstatte denne med en radrensning. Forsøg har vist, at radrensning kan erstatte en eller flere sprøjtninger uden tab af effekt og udbytte.

Udover krav til effekt på ukrudtet er ukrudtsbekæmpelsen i majs i praksis underlagt ønsket om kapacitet, dvs. man har ønske om at kunne behandle et stort areal pr. time. Med moderne marksprøjter med bombredde på 24-36 meter, eller i sjældne tilfælde endnu større bredder, er det muligt at honorere ønsket om en høj kapacitet. Radrensning giver ikke mulighed for at behandle så store arealer pr. time som sprøjtning, og mange maskinstationer tilbyder ikke radrensning af majs som en mulighed. Derfor er udbredelsen af den afsluttende radrensning pt. meget begrænset.

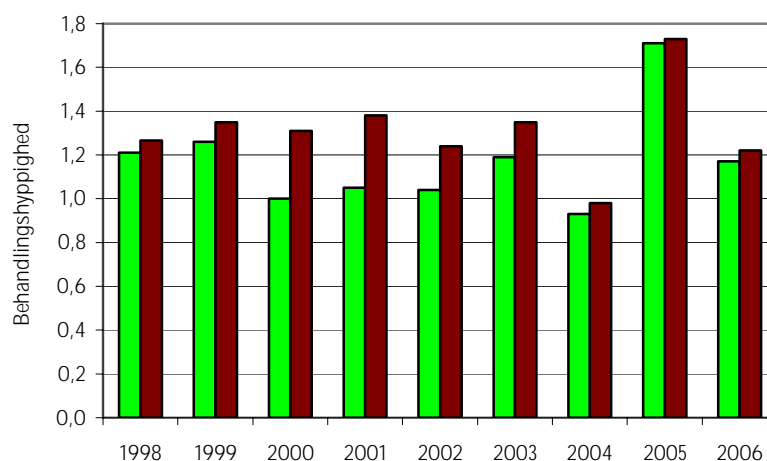
6.2 Nuværende herbicidforbrug i majs

Herbicer udgør langt størsteparten af pesticidforbruget i majs. Figur 52 viser behandlingshyppighed (BH) i majs (beregnet som det antal gange majsarealet kan behandles med standarddoser af den årlige solgte mængde aktivstof i bekæmpelsesmidler til den pågældende afgrøde) i perioden 1998-2006. Den nye beregningsmetode, hvor mængden af bestemt aktivstof tæller ens uanset ukrudtsmidlet, er anvendt. Tallene stammer fra Miljøstyrelsens årlige Bekæmpelsesmiddelstatistik, som er baseret på en gros-salget af bekæmpelsesmidler. Disse tal udtrykker altså ikke det aktuelle forbrug på markniveau, men et gennemsnit over flere år vil være retvisende for indsatsen. Opgørelsen af BH i majs er endvidere behæftet med nogen usikkerhed, idet flere af midlerne (Starane 180 og Harmony) både kan anvendes i majs og i

andre kornafgrøder. Over tid vurderes statistikken dog som værende retvisende for praksis i majs.

Den store ændring i behandlingshyppigheden fra 2004 til 2005 vurderes ikke at være retvisende for praksis, men dækker over, at der i forbindelse med revurderingen af aktivstoffet terbuthylazin og den deraf følgende udfasning af to gamle ukrudtsmidler (Lido 410 SC og Inter-Terbuthylazin) har været store lagerforskydninger i grovvarebranchen. Tallene fra 2006 ligger på niveau med 2002-2003 og bekræfter således denne formodning. Et niveau omkring BH=1,2 vurderes derfor som retvisende for den gennemsnitlige kemiske bekæmpelsesindsats i majs i Danmark.

Måltallet for ukrudtsbekæmpelse i majs, svarende til målet i Pesticidplan 2004-2009 om en behandlingshyppighed på 1,7, er 1,0. Det betyder, at forbruget i praksis ligger ca. 20% over måltallet. Da måltallet blev fastlagt i 2003 forudsatte man, at en større del af majsarealet ville blive radrenset. Radrensning har som nævnt ovenfor i dag ikke det forudsatte omfang i majs, blandt andet pga. kapacitetsproblemer.



Figur 52. Behandlingshyppighed for herbicider i majs (lyse søjler) og total behandlingshyppighed i majs (mørke søjler) i perioden 1998-2006. Den nye opgørelsesmetode er anvendt. Kilde: Bekæmpelsesmiddelstatistik 1998-2006 fra Miljøstyrelsen.

6.3 Anvendte herbicider i majs

Tabel 8 viser en oversigt over de herbicider, som i 2006-2007 har været markedsført, og som anvendes i majs. Tabellen viser midlernes aktivstoffer, aktuelle prisniveauer samt relevante doseringer.

Tabel 8. Ukrudtsmidler (herbicider), som er godkendt i Danmark til anvendelse i majs. Kilde: Middel databasen og Miljøstyrelsen

Handels Navn	Virksomme stoffer, g pr. kg eller liter	Enhed	Max. dosis pr. sæson, kg/l pr. ha	Dosis svarende til 1 BH/BI, kg/l pr. ha	Markeds -pris 2007, kr. pr. kg/l	Jord effekt	Blad effekt
Laddok TE	200 bentazon, 200	liter	2,5	1,74	139	+++	+++
Calaris	terbuthylazin 70 mesotrion, 330	liter	1,5	1,33	412	+++	+++
MaisTer	terbuthylazin 300 foramsulfuron , 10	kg	0,15	0,15	3100	+	++++
Stomp	iodosulfuron-methyl-Na 400 pendimethalin	liter	5	4	102	++++	+
Harmony	750 thifensulfuron-methyl	kg	0,0075	0,01	10880		++++
Starane 180S	180 fluroxypyr	liter	1,5	1,5	272		++++
Fighter 480 (tidligere Basagran 480)	480 bentazon	liter	1	1,04	270		++++

Med et samlet behandlingsindeks på ca. 1,2 og en antagelse om, at der foretages 2-3 sprøjtninger i en majsafgrøde, må man antage at der anvendes ukrudtsmidler svarende til ca. BI=0,4-0,5, eller ca. halv normaldosering ved hver sprøjtning.

Beregnet af beslutningsstøttesystemet Planteværn Online viser tabel 9 effekten af de forskellige midler anvendt i halv dosis i en majsafgrøde, hvor ukrudtet har 0-2 blade. Det fremgår af tabellen, at flere midler har bred effekt mod en række ukrudtsarter i majs, og at der derfor er gode muligheder for at basere middelvalget på de forekommende ukrudtsarter. Planteværn Online kan benyttes til at få anvist det optimale middel eller den optimale blanding af flere midler mod en given ukrudtsbestand. I praksis vil middelvalget dog ofte blive påvirket af følgende hensyn: Man vil gerne sikre sig, at den anvendte løsning har både jord- og blad-effekt, således at det allerede fremspirede ukrudt bekæmpes, og der så vidt muligt sker en hæmning af nyfremspiring. Aktivstofferne bentazon og fluroxypyr og til dels thifensulfuron-methyl virker bedst, når der er gode temperaturforhold på sprøjtetidspunktet. Jordefeffekten af terbuthylazin og pendimethalin er bedst, når der er god jordfugtighed, og endelig betyder ønsket om at forebygge udvikling af herbicidresistens hos ukrudtet, at det ikke anbefales at basere ukrudtsbekæmpelsen på sulfonyleurea-aktivstofferne foramsulfuron, iodosulfuron-methyl-Na og thifensulfuron-methyl alene.

I praksis anvendes ofte herbicidblandinger som f.eks. Calaris + Fighter 480 (Basagran 480), Calaris + Harmony, Calaris + MaisTer, Laddok TE + Harmony, Laddok TE + MaisTer, Laddok TE + Starane 180S eller MaisTer + Starane 180S, se aktivstofindhold i tabel 8. Denne praksis sikrer en bred effekt på ukrudtet og honorerer samtidig et eller flere af de ovenfor nævnte praktiske hensyn.

Tabel 9. Effekt af halv normal dosis af ukrudtsmidler mod en række almindelige ukrudtsarter i majs. Som undtagelse er Starane 180S angivet i ca. kvart dosis for bedre at afspejle realistiske doser i praksis. Kilde: Værktøjerne 'Effektprofil' og 'Effekt af brugervalgte blandinger' i beslutningsstøttesystemet Planteværn Online (Rydahl, 2006)

Ukrudtsarter	Basagran 480 (0,5 l/ha)	Calaris (0,75 l/ha)	Harmony (3,8 g/ha)	Laddok TE (1,3 l/ha)	MaisTer (75 g/ha)	Stomp (2,5 l/ha)	Starane 180S (0,4 l/ha)
Brandbæger, alm.	9		61	99	98	83	
Burresnerre	13	97	15	84	92	65	92
Forglemmigej, mark	23	100	81		95		95
Fuglegræs	43	100	92	100	99	97	87
Gåsefod, hvidmelet	48	100	89	99	98	98	38
Hanekro	2	99	85	99	99		93
Hanespore, alm.		98			97		
Hejrenæb	9	84	61	94			69
Hundepersille	9			98	94		52
Hyrdetaske	18	100	87	99	99	84	55
Jordrøg, læge	11	98			85		
Kamille, lugtløs	48	98	89	95	97	86	47
Kamille, skive	38	99		94	92		47
Kvik					32		
Kål, ager	70	98			97		
Limurt, nat	36		85	99	92	97	71
Natskygge, sort	12	100	15	98	94		
Nælde, liden	12		37		92		
Pengeurt	12	99			98		75
Pileurt, bleg	20	99	91	99	94	92	71
Pileurt, fersken	24	99	91	99	94	92	71
Pileurt, snerle	17	98	88	95	36	93	92
Pileurt, vej	2	97	89	94	71	83	79
Rapgræs, enårig		90		94	95	72	
Raps	75	98	92		97	97	62
Sennep, ager	67	99	87		97	96	66
Stedmoder, ager	1	100	66	95	94	90	38
Storkenæb	9	66	32	91	45		57
Tidsel, ager	1	82			11		
Tvetand	8	99	87	95	92	98	71
Ærenpris, storkronet	2	99	37		59	97	47

6.4 Omkostninger til ukrudtsbekæmpelse i majs

I Tabel 8 er angivet "landmandspriser" (dvs. handelsprisen inklusiv pesticidafgift, men eksklusiv moms) for 2006-2007 for de forskellige ukrudtsmidler godkendt i majs. Det bemærkes, at prisdannelsen og prisdifferentieringen mellem kundegrupper gør, at salgspriserne for herbicider i praksis varierer meget. En kunde, som ikke planlægger et samlet indkøb eller ikke har et vist engagement med et grovwarefirma, kan risikere at betale priser, der er 20-30% højere end de viste.

Med de angivne priser varierer herbicidomkostninger til almindelige behandlingsprogrammer mellem 330 og 940 kr. pr. ha i 2007. Dertil kommer omkostninger til 2-3 sprøjtninger. Det vurderes ud fra salgsstatistikker og indberetninger til Landscentret, at den gennemsnitlige kemiomkostning ved ukrudtsbekæmpelse i majs i praksis er ca. kr. 550 pr. ha eller ca. kr. 460 pr. behandlingsindeks-enhed (BI-enhed) med de anvendte landmandspriser i 2007.

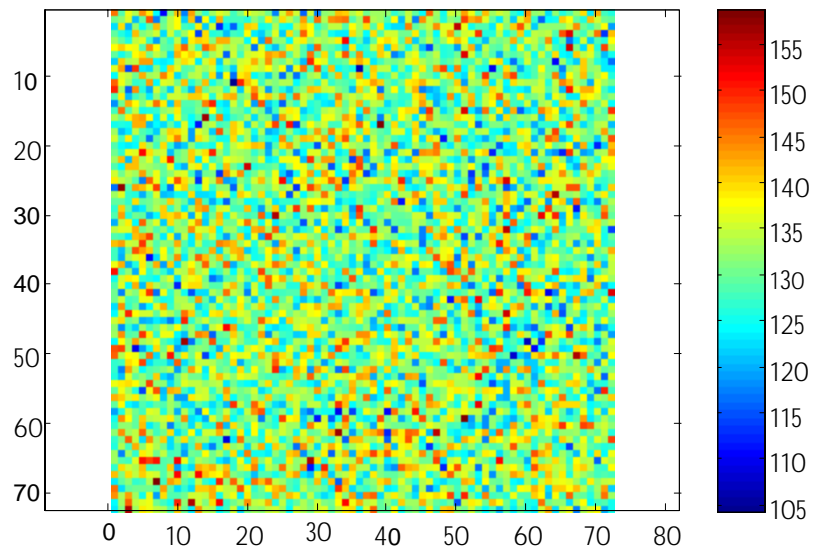
6.5 Potentiale ved celledsprøjtning i majs

I det følgende anvendes omkostninger til ukrudtsmidler som mål for det økonomiske potentiale og behandlingsindeks som mål for det miljømæssige potentiale ved anvendelse af celledsprøjtning. Særligt sidstnævnte antagelse er problematisk, da der ikke er en direkte sammenhæng mellem størrelsen af behandlingsindeks og en given behandlings påvirkning af ikke-målorganismer. Behandlingsindeks er valgt som mål, da der pt. ikke er alternative miljøindikatorer i praksis.

Man kan lave en simpel beregning af potentialet ved anvendelse af celledsprøjtning i majs, hvis man opstiller følgende forudsætninger:

1. Ukrudtsbekæmpelsen foretages rettidigt, dvs. på ukrudt med kimblade eller maksimalt 1 løvblad. Når ukrudtet er så småt, kan der ses bort fra problemer med, at en ukrudtsplante dækker flere celler.
2. Der foretages tre sprøjtninger, hver med en indsats svarende til $BI=0,4$. Ved hver sprøjtning fjernes det fremspirede ukrudt med en effekt på 100 %. Det antages, at der før første sprøjtning er fremspiret 60% af den samlede ukrudtsbestand på arealet, mens der mellem første og anden henholdsvis anden og tredje sprøjtning fremspirer 30 henholdsvis 10%.
3. Ukrudtet er tilfældigt fordelt på arealet, hvilket betyder, at det er rimeligt at antage at antallet af ukrudtsplanter i en given celle er et udfald i en poissonfordeling. Figur 53 illustrerer denne antagelse.
4. Der anvendes udelukkende midler med bladeffekt, eller såfremt der anvendes jordvirkende herbicid i en given celle, har det ingen effekt på nyfremspiring af ukrudt i cellen (dvs. ingen residualeffekt).
5. Ved celledsprøjtningen har hver enkelt behandlet celle en størrelse på 10 x 10 cm, eller 0,01 m².
6. Der anvendes en sprøjte med injektionssystem for kemikalierne, således at uforbrugte kemikalier kan genbruges på en anden mark, dvs. der ikke går kemikalier til spilde ved celledsprøjtning af et givet areal.

GnsDens=132 MinDens=104.28 MaxDens=158.84 NomDens=220 SprCell=0.1



Figur 53. Illustration af ukrudtstæthed på en flade på 72 x 72 meter, eller ca. 0,5 ha under antagelsen om uniform fordeling, dvs. antallet af planter i en given celle er poissonfordelt

På baggrund af disse forudsætninger kan der opstilles et antal scenarier for det økonomiske og miljømæssige potentiale ved celledsprøjtning, afhængigt af, hvor ukrudtsbefængte marker der er tale om. Tabel 10 viser beregnede behandlingsindeks (BI) og omkostninger svarende til forskellige ukrudtsbestande. Det fremgår, at reduktionen i omkostninger og BI varierer mellem 19 og 72 % ud fra disse antagelser. I 14 landsforsøg i perioden 2005-2007 har der i gennemsnit været optalt 220 ukrudtsplanter pr m^2 i ubehandlede forsøgsled i slutningen af juni, hvor ukrudtsbekæmpelsen er afsluttet. En ukrudtsbestand på 220 planter svarer til en gennemsnitlig reduktion af BI og omkostninger med 50 % ved anvendelse af celledsprøjtning.

Tabel 10. Beregnede behandlingsindeks (BI) og omkostninger til pesticider ved alm. bredsprøjtning og celledsprøjtning ved forskellige ukrudtsbestande, forudsat til fældig fordeling af ukrudt på arealet, ingen residualeffekt af jordherbicer, celledstørrelse 0,1 m x 0,1 m = 0,01 m² og et fremspiringsmønster svarende til hhv. 60, 30 og 10 % af den potentielle ukrudtsbestand ved de tre sprøjtninger.

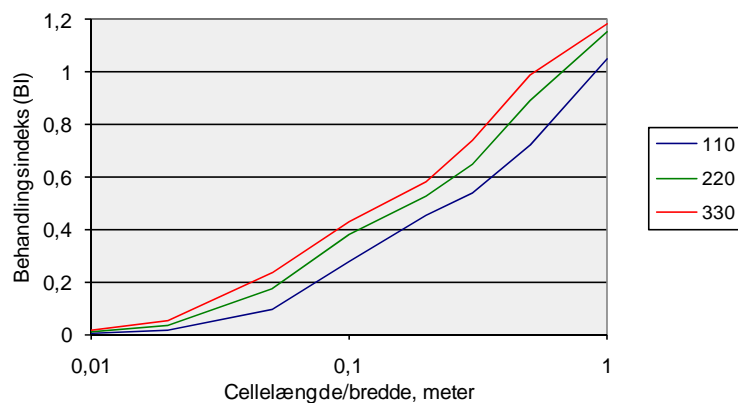
Ukrudts- bekæmpelse	Ukrudts- bestand, planter pr. m ²	Sprøjt- ning nr.	Antal ukrudts- planter pr. m ²	Procent celler med ukrudt	Antal sprøjt- ninger pr. areal	BI	Kemi- omkost- ning, kr. pr. ha
Bredsprøjtning	100-600	1		100			
		2		100			
		3		100	3,00	1,20	550
Cellesprøjtning	110	1	66	48			
		2	33	28			
		3	11	10	0,87	0,35	159
Cellesprøjtning	220	1	132	73			
		2	66	48			
		3	22	20	1,41	0,57	259
Cellesprøjtning	330	1	198	86			
		2	99	63			
		3	33	28	1,77	0,71	325
Cellesprøjtning	600	1	360	97			
		2	180	83			
		3	60	45	2,26	0,90	414

Imidlertid er det almindeligt kendt, at ukrudtsbestanden på et areal meget sjældent er tilfældigt fordelt (antagelse 3). I praksis forekommer ukrudt næsten altid i pletter, hvilket vil påvirke besparelsespotentialet ved celledsprøjtning i opadgående retning i forhold til tallene i tabel 10. Omvendt er en af årsagerne til ønsket om anvendelse af herbicider med jordeffekt at påvirke efterfølgende fremspiring af ukrudt, så antagelse 4 er også problematisk. En forebyggelse af efterfølgende fremspiring vil påvirke besparelsespotentialet ved celledsprøjtning i nedadgående retning, forudsat at doseringerne ved reference-bredsprøjtningen justeres i forhold til den aktuelle ukrudtsbestand ved den enkelte sprøjtning. Hvis der imidlertid sammenlignes med en bredsprøjtning, hvor der behandles uden foregående markinspektion, så vil justering for residualeffekt ved celledsprøjtning yderligere forøge potentialet ved denne.

For at få et mere retvisende billede af potentialet er der gennemført et antal simuleringer med ændrede forudsætninger for så vidt angår antagelse 3 og 4 i forrige afsnit.

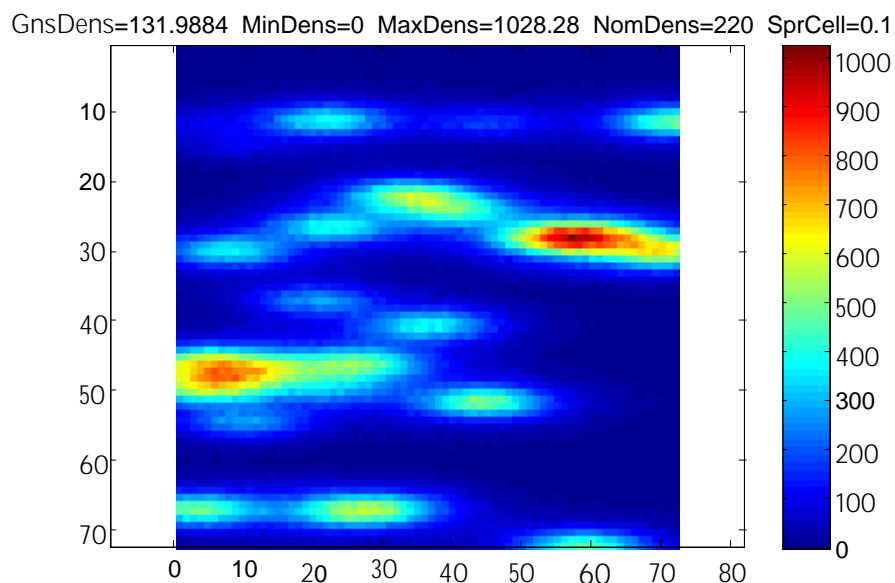
I det første scenarie er antagelse 4 ændret, således at det nu antages, at der anvendes midler med jordeffekt (residualeffekt). Effekten på nyfremspiring i en behandlet celle antages at være 90%, dvs. hvis en celle eksempelvis er behandlet i første sprøjtning, så er den forventede nyfremspiring til 2. sprøjtning kun 10 % af, hvad den ellers ville være. Der findes i litteraturen ikke tal for, hvor meget en efter danske forhold realistisk dosering af jordmiddel påvirker nyfremspiring, og det har ikke været muligt i projektet at belyse dette, så de 90 % er et skøn.

Figur 54 viser behandlingsindeks (BI) som funktion af cellebredden for tre størrelser af ukrudtsbestande under de ændrede forudsætninger. Det fremgår, at ved en ukrudtsbestand på 220 planter pr. m² og en cellebredde på 0,1 m er BI reduceret fra 0,57 ved manglende hensyntagen til residualeffekt til 0,40, når der tages hensyn til residualeffekten.



Figur 54. Ligel ig ukrudtsfordeling. Behandlingsindeks som funktion af cellelængde/bredde ved ukrudtstætheder på 110, 220 og 330 planter pr. m² og en residual effekt af herbicidsprøjtning på nyfremspiring på 90 %. Kilde: Søgaard, personlig kommunikation.

Modellen tager imidlertid stadig ikke den pletvise forekomst af ukrudt i betragtning. I figur 55 er illustreret en pletvis forekomst af ukrudt på et areal, hvor ukrudtspletterne er "trukket aflange", hvilket afspejler spredning af frø som følge af trafik og jordbearbejdning i marken på tværs af figuren.



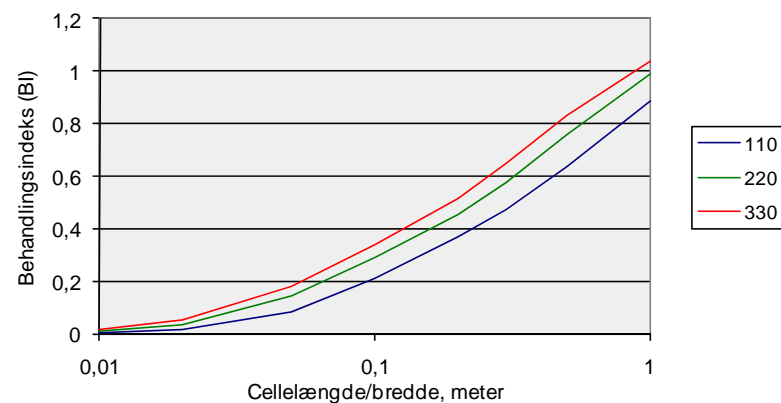
Figur 55. Illustration af ukrudtstæthed på en flade på 72 x 72 meter, eller ca. 0,5 ha under antagelse om en pletvis fordeling af ukrudt på arealet, dvs. en mere realistisk antagelse end den uniforme fordeling.

Ukrudtsfordelingen i figur 55 svarer i langt højere grad til, hvad man forventer i praksis. Det har ligget uden for projektets rammer at validere nøjagtigheden af de genererede fordelinger, men parametrene i den anvendte negative binomialfordeling stemmer overens med litteraturen på området, ligesom de beregnede semivariogrammer for ukrudtsfordelingen stemmer overens med, hvad andre har fundet. Pletfordelingen er i forbindelse med denne rapport alene genereret med henblik på at få en forsigtig kvantificering af effekten af pletvis fordelt ukrudt.

Effekten af pletvis forekomst af ukrudtet ses tydeligt i figur 56. En kombination af pletvis forekomst og herbicider med residualeffekt reducerer således behandlingsindeks til 0,29, hvilket skal sammenlignes med $BI=0,40$ ved ligelig fordeling af ukrudtet.

Det aktuelle potentiale af metoden skal valideres i markforsøg, men på basis af det ovenstående konkluderes, at celledsprøjtning i celler på $0,01 \text{ m}^2$ har et potentiale for mindst 50-70 % besparelse af pesticidforbruget, baseret på de givne forudsætninger. Disse beregninger støtter altså en af projektets arbejdshypoteser.

Det udviklede sprøjtesystem er reelt designet med afsæt i en cellestørrelse på $30 \times 107 \text{ mm}$, hvilket øger reduktionspotentialet endnu mere. Ved en ukrudtstæthed på 220 planter pr. m^2 i pletvis forekomst og med residualeffekt taget med i effektberegningen, viser de ovenstående teoretiske beregninger – baseret på de givne forudsætninger – et besparelsespotentiale i størrelsesordenen 80 - 90%.



Figur 56. Pletvis ukrudtsfordeling (baseret på figur 53). Behandlingsindeks som funktion af celledlængde/bredde ved ukrudtstætheder på 110, 220 og 330 planter pr. m^2 og en residual effekt af herbicidsprøjtning på nyfremspiring på 90 %. Kilde: Søgaard, personlig kommunikation.

7 Diskussion

Kommercielt tilgængelige dyser er udviklet med henblik på at sprøjte kontinuert samt at behandle i en båndbredde der er væsentlig større end de 10 cm, der er anvendt i dette projekt. Den mindre båndbredde betyder, at den effektive væskemængde pr. arealenhed, der behandles, øges væsentligt. Dette er løst ved implementering af volumenregulering af dyserne, hvilket foregår i selve on/off-reguleringsenheden. I visse tilfælde anvendes en mindre dysehøjde til målet for at opnå den lille båndbredde. Dette betyder, at dråbehastigheden ved målet er større, hvilket kan have betydning for afsætningen. Ved kontinuert sprøjtning af smalle bånd er der ved forsøgene opnået effekter med de testede dyser på linie med de effekter, der opnås med en traditionel bredsprøjtning. Undersøgelserne af biologisk effekt ved celledsprøjtning af celler på 10 x 10 cm har vist, at det er muligt at foretage bekæmpelsen med kommercielt tilgængelige dyser. Ved celledsprøjtning er der enkelte tilfælde opnået effekter på samme niveau som med bredsprøjtning, og der er opnået en relativt skarp grænse mellem den/de behandlede celle(r) og det omgivende, ubehandlede. De testede dyser har således været i stand til momentant at producere en sprøjtetouche der kunne behandle en firkantet celle, og med en kørselshastighed som ikke afviger fra den normalt anvendte. I forsøgene er der i flere tilfælde ikke opnået den tilstræbte celledbredde, men dette kan formentlig løses ved en justering af dysehøjde.

I nogle tilfælde er der fundet en svagere effekt ved celledsprøjtning i forhold til bredsprøjtning, især i cellens periferi. Hvorvidt dette skyldes en dårligere udnyttelse af herbicidet ved celledsprøjtning er ikke afklaret. Det er dog visualiseret at der forekommer færre, men større dråber i periferien, hvilket kunne give anledning til effektforsringelse. Ved celledsprøjtning har det ikke været muligt at kalibrere forsøgssprøjten helt præcist, da dyseydelsen, og dermed doseringen, er afhængig af åbningstiden. For om muligt at kunne korrigere for dette blev der foretaget målinger af afsætning i de samme opstillinger som er anvendt til de biologiske effektforsøg. Ud fra disse kan det konstateres, at de lidt svagere effekter der blev registreret ved celledsprøjtning i forhold til bredsprøjtning i hvert fald delvis skal tilskrives, at den tilstræbte dosering ikke blev nået.

Det tyder således på, at det er muligt at anvende kommercielt tilgængelige dyser til celledsprøjtning med et doseringsbehov i de sprøjtede celler, som ikke afviger væsentligt fra den dosering, der skal anvendes ved traditionel bredsprøjtning.

Selvom der anvendes konventionelle dyser, vil celledsprøjtesystemet ikke umiddelbart kunne anvendes på de store bomme ved en opløsning i sprøjtekortet på 10 cm, idet bevægelser i bommens yderste ende ofte vil være større end sprøjtekortets opløsning. Der er således en sammenhæng mellem celledstørrelse og sprøjtebommens bredde. Ved anvendelse af celledsprøjtesystemet på de store bomme skal sprøjtekortets opløsningsgrad derfor formindskes til f.eks. bomsektion eller enkelt-dyseniveau. Der arbejdes dog kommercielt med udvikling af bomstabiliseringssystemer, og mange af disse systemer er allerede på markedet. Det må derfor forventes at sprøjtekortets opløsning kan forbedres i takt med udviklingen af intelligente

bomreguleringssystemer til marksprøjter. Et igangværende projekt "Aktiv og intelligent bomstabilisering for marksprøjter" ved Aarhus Universitet, Institut for Jordbrugsteknik, omhandler netop løsninger af disse problemer. Af kommercielle systemer kan bl.a. nævnes den automatiske regulering af spredbommens højdeposition som Hardi International forhandler.

Det er en generel erfaring fra de praktiske forsøg, at kørehastigheden er kritisk. Således forstået, at den virkelige hastighed skal stemme nøje overens med den hastighed, som indgår i computervisionprogrammets beregninger. Ifald der er uoverensstemmelse vil sprøjtedouchen ikke ramme korrekt indenfor de krævede 30 mm. Den hastighed, som kan aflæses på en traktors instrumentpanel, og som stammer fra enten en hjulsensor eller fra en GPS-måling, er normalt ikke tilstrækkeligt nøjagtig. Det vil sikkert være en bedre løsning at anvende et fritløbende målehjul forsynet med en hastighedssensor med en høj opløsning.

En alternativ løsning vil være at bestemme hastigheden ud fra en korrelationsberegning mellem to på hinanden følgende billeder. Dette er dog en teknik, som har vist sig ret vanskelig at få til at fungere generelt, men som vil indebære store fordele, hvis det lykkes. Den er således fuldstændig berøringsfri, og der er derfor ingen dele, som kan afstedkomme slæbning eller blive sat til med sten eller jordknohle.

I dette projekt er der udelukkende kørt ved den naturlige belysning ved de udendørs forsøg. Erfaringen fra dette er, at det fungerer udmærket ved diffuse lysforhold, dvs. når det er overskyet. Skinner solen, kan det ikke undgås, at der falder skygger ind over billedfelterne. Dette vil normalt resultere i, at det skyggede areal optræder som helt sort på billederne, og det er ikke muligt at udskille detaljer i de sorte felter i billedet. Erfaringer fra Holland, hvor man arbejder med et i vis grad modsvarende system, viser, at det er nødvendigt at lukke sollyset ude ved én eller anden form for overdækning. Der anvendes i stedet ensartet kunstig belysning under overdækningen.

Der er både fordele og ulemper ved et sådant arrangement. En fordel er at den konstante belysning betyder en konstant eksponeringstid for kameraerne, som igen vil medføre en konstant gennemløbstid for programmet. Derved er den maksimale kørehastighed også fastlagt. Yderligere vil systemet med et sådant arrangement være forberedt for at kunne arbejde om natten.

Ulempen er, at den kunstige belysning vil medføre et energiforbrug, hvilket dog kan reduceres ved at anvende blitz i stedet for konstant lysende lamper. Man kan også tænke sig at anvende diodelamper, som kun kræver en relativt lille effekt. Lysudbyttet fra disse er dog ret begrænset, hvorved kameraernes eksponeringstid vil forøges og den maksimale kørehastighed formindskes.

Det bør nævnes, at man ved at anvende de nyudviklede højdynamikkameraer, bør kunne undgå arrangementer med kunstigt lys. Ved denne form for kameraer aflæses de enkelte pixel, når de har opnået en vis grad af mætning. Dette indebærer, at de pixel, som afbilder områder med svag belysning får længere tid til at indsamle lys, sammenlignet med pixel for områder med kraftig belysning. Herved får man billeder, hvor de skyggede partier stadig bliver lyse med mulighed for at skelne detaljer, samtidigt med at de højtbelyste områder alligevel ikke bliver overbelyste. Disse kameraer er dog stadig ret kostbare.

Hvis celledsprøjtningssystemet og dataopsamlingen på sigt skal forventes at få en større udbredelse i praksis, var det en betingelse fra starten, at dataoverførslen fra sprøjteenheden til det centrale datalager ikke foregår på traditionel vis ved at lagre oplysninger på f.eks. et PCMCIA-kort, som med regelmæssige mellemrum manuelt tømmes for data. Erfaringen har vist, at denne manuelle håndtering af data sjældent bliver gennemført, og store dele af disse data aldrig kommer længere end til datakortet. I stedet er der fokuseret på en fuldautomatisk løsning, der kører i realtid og uden sprøjteførerens aktive indblanding.

De praktiske afprøvninger har vist, at dataoverførsel på en konstant åben GPRS-dataforbindelse i kombination med en hardwareenhed med lokal datahukommelse er en meget god kombination. Systemet giver mulighed for en realtids her-og-nu dataoverførsel – når der er god mobildækning – og samtidig undgår man datatab, hvis mobilnettets GPRS-dækning ikke er fuldkommen overalt.

Dansk Markdatabase er valgt som central database i projektet. Databasen, der drives og udvikles af Dansk Landbrugsrådgivning, er et frit tilgængeligt internetbaseret filarkiv målrettet alle danske landmænd. Dansk Markdatabase indeholder pt. grundlæggende mark- og afgrødeoplysninger for ca. 1.0 mio ha fordelt på ca 20.000 bedrifter. Databasens store dækningsgrad var et væsentligt argument for at vælge denne database, frem for at opbygge en ny selvstændig database indenfor projektet. Udover mark- og afgrødeinformationerne indeholder Dansk Markdatabase digitaliserede markgrænser for ca. 15% af arealet, hvilket er med til at understøtte den GIS-orienterede dokumentation af sprøjtearbejdet.

Eftersom celledsprøjten skal kunne operere med en fremkørselshastighed på mindst 6 km/t for at have en chance for en fremtidig kommerciel udbredelse, kunne det relativt tidligt i projektet konkluderes, at den digitale datahåndtering meget let bliver den tidsmæssige flaskehals i selve systemet. Derfor måtte der foretages en række dubleringer af processorer samt en overordnet stram prioritering af, hvilke dele, der først skal falde væk, hvis datahåndteringen ikke kan følge med. Dette resulterede bl.a. i, at der til billedoverførslen blev etableret et ekstra parallelt system, bestående af en ekstra billedcomputer og et ekstra kamera. Selve billedoverførslen via GPRS-nettet blev endvidere prioriteret lavere end dataoverførslen, hvis dataopsamlingsmodulet ikke kan følge med. Dvs. der sendes alene data uden billeder, hvis dataopsamlingsmodulet ikke kan komme af med data hurtigt nok.

Analysen af ukrudtsbekæmpelsen i majs og de tilhørende teoretiske beregninger af reduktionspotentialer viser, at der – under de givne antagelser – er mulighed for pesticidbesparelse i størrelsesordenen 50 – 70% ved en celledsprøjtning på 100 x 100 mm. Tilsvarende viste beregningerne et besparelspotentiale på 80 – 90%, hvis systemet designes til en celledsprøjtning på 30 x 107 mm. Det er dog et spørgsmål, om et sprøjtesystem med en celledsprøjtning på 30 x 107 mm vil kunne få en reel udbredelse i praksis, hvor arbejdskapacitet er den væsentligste faktor. Undersøgelserne har bl.a. også vist, at den maksimale fremkørselshastighed for dette design ligger på 1 m/s (3,6 km / timen), hvilket ikke matcher erhvervets nuværende kapacitetskrav med mindre celledsprøjten monteres på et autonomt køretøj der i teorien kan arbejde i alle døgnets 24 timer.

Ved udregningerne af celledsprøjtningssystemets potentialer i kapitel 6 har det været nødvendigt at foretage mange forsimplinger. Eksempelvis er der set bort fra det faktum, at forskellige ukrudtsarter har forskellige fremspiringstidspunkter og -mønstre i afgrøden. Der er behov for udførelse af markforsøg, hvor celledsprøjtningssystemet sammenlignes med bredsprøjtning under anvendelse af forskellige middelblandinger og doseringer for at kunne give et bedre bud på dette.

Udover de besparingspotentialer, der er ved brugen af systemer som "Cellesprøjtten", er der andre miljømæssige aspekter med store perspektiver i forbindelse med dosering af pesticider. Her tænkes på reduktionen i potentialet for udvaskning af pesticider til grundvandet, fordi kun de dele af markens overflade, der indeholder ukrudtsplanter, bliver sprøjtet. Cellesprøjtten, der bruger et højt opløseligt sprøjtekort, har dyserne placeret tættere på afgrøden, hvilket reducerer potentialet for vindafdrift. Endelig vil en reduktion af pesticidforbruget også have en stor økonomisk betydning for landmanden.

8 Konklusioner

Det var projektets formål at udvikle teknologi, der kan reducere forbruget af herbicider med mindst 50 % ved sprøjtning i majs, sammenlignet med den mængde, der anvendes ved konventionel sprøjteteknik.

Det var projektets hypotese, at det er muligt at foretage en visionbaseret, stedspecifik sprøjtning af felter med ukrudtsplanter og tilsvarende undlade at sprøjte markens overflade i områder uden ukrudt og at foretage en realtids dokumentation af produktionsprocessen ved automatisk dataoverførsel, og dermed sikre en effektiv sporbarhed.

Der er i projektet opbygget en vision baseret cellesprøjte, der kan behandle markens overflade stedspecifikt med en opløsning på 107 x 30 cm

Det er demonstreret, at cellesprøjten kan detektere og behandle alle grønne elementer i en sprøjtekortsopløsning på 107 x 30 mm.

Projektet har vist at det er muligt at anvende kommercielt tilgængelige dyser til cellesprøjtning med et doseringsbehov i de sprøjtede celler, som ikke afviger væsentligt fra den dosering der skal anvendes ved traditionel bredsprøjtning.

De teoretiske analyser har demonstreret at cellesprøjtning i celler på 0,01 m² har et potentiale for 50-70 pct. besparelse af pesticidforbruget.

Reduktionspotentialet stiger med faldende cellestørrelse. Ved en cellestørrelse på 30 x 107 mm stiger potentialet – under de givne forudsætninger – til 80 – 90% i forhold til bredsprøjtning. Det anses dog for at være meget svært at opnå denne høje besparelser i praksis.

Under gode lysforhold kan cellesprøjten operere med hastigheder op til ca. 1 m/s svarende til 3,6 km/time.

Målingen af kørehastigheden er kritisk. Den hastighed, programmet baserer beregningerne på, skal stemme nøje overens med den faktiske kørehastighed.

Kameraerne samt billedfelterne på jordoverfladen bør overdækkes lystæt og jordoverfladen belyses kunstigt for at undgå problemer med skyggedannelse ved stærkt sollys.

Det er i projektet demonstreret, at det er muligt at opbygge et dataopsamlingssystem, der i praksis kan foretage en realtidsdokumentation af en gennemført plantebeskyttelse i kraft af automatisk dataopsamling og -overførsel til en central server.

XML-dataoverførselsprotokollen ISO11783-10 er en god og samtidigt meget fleksibel dataprotokol til overførsel af sprøjtedata. ISO-protokollen egner sig derimod ikke i sin nuværende udformning til overførsel af billeder.

Det udviklede dataopsamlingsystem er så generisk i sin opbygning, at det meget enkelt ville kunne udvides til også at overføre andre redskabsdata end sprøjtedata, herunder f.eks. udbragt mængde husdyrgødning.

Dataoverførsel via en konstant åben GPRS-forbindelse i kombination med en lokal hukommelse til midlertidig lagring af data i tilfælde af manglende mobildækning har vist sig at være en robust dataoverførselsmetode.

Anvendelse af programmeringssproget Java til dataopsamlingsmodulet har resulteret i en ægte platformsuafhængig software, der uden problemer har kunnet installeres og afvikles på flere forskellige hardwareenheder.

Central lagring af georefererede informationer om sprøjteintensiteten på markniveau giver meget værdifulde oplysninger om den rumlige fordeling af ukrudtsfloraen, når disse efterfølgende præsenteres på kortudskrifter.

9 Perspektiver

9.1 Forskningsmæssige perspektiver

Intelligente kameraer med indbygget computer er kommet på markedet, såkaldte "Smart Cameras". Nogle af disse anvender DSP (Digital Signal Processing) eller FPGA (Field Programmable Gated Array) teknik og er ikke helt så enkle at programmere som et mere konventionelt operativsystem. Til gengæld arbejder de med en betydelig højere hastighed. For en cellesprøjte kan man da tænke sig at anvende sådanne kameraer forsynede med passende digitale porte for direkte styring af magnetventilerne. Fordelen ved et sådant system vil være, at man undgår en central computer og et antal ledningstilslutninger, som ofte udgør problematiske punkter på mobile køretøjer og redskaber. Det forventes, at dette vil bidrage til at øge systemets hastighed og dermed få cellesprøjtesystemet til at arbejde med praksisnære fremkørselshastigheder.

Der er arbejdet med faste cellestørrelser i det udviklede cellesprøjtesystem. Dette er imidlertid ikke altid optimalt, idet hver celle behandles ens uanset antallet af ukrudtsplanter i cellen. Der kunne således være en ide i at udvikle et system med dynamiske celler, hvis størrelse er afhængig af ukrudtsdensitet og -fordeling.

Berøringsfrie hastighedssensorer vil kunne give en præcis positionering af sprøjtemålet. Da computervision systemet i forvejen løbende anvender billeder af markens overflade, vil det være yderst interessant at bruge disse billeder til bestemmelse af fremkørselshastigheden. Hastighedsbestemmelse ud fra korrelationsberegninger af to på hinanden følgende billeder er imidlertid forbundet med store udfordringer.

Gennem flere årtier har været gennemført biologiske forsøg over effekten ved brug af forskellige strategier og sprøjtesystemer. Cellesprøjtesystemet fungerer imidlertid anderledes, idet ikke hele marken sprøjtes samtidigt. Det er således afgørende at de potentielle besparelser efterprøves og dokumenteres ved iværksættelse af markforsøg med cellesprøjten.

Der er yderligere behov for, at projektets resultater følges op med en analyse eller beskrivelse af landmænd og sprøjtefabrikanter faglige og økonomiske interesse i cellesprøjtning samt en cost-benefit analyse.

9.2 Anvendelsesmæssige og administrative perspektiver

Der er ikke tvivl om, at et cellesprøjtningssystem som det beskrevne har et stort potentiale for reduktion af herbicidforbruget i majs og andre rækkedyrkede afgrøder. Cellesprøjtningssystemets potentiale mht. reduktion af herbicidforbruget er grundlæggende uafhængigt af, om oplysningerne om behandlingsomfanget og de optagne ukrudtsbilleder lagres centralt eller ej. Alligevel giver det god mening at opsamle oplysningerne om, hvorvidt et givent areal er sprøjtet eller ej, da denne information kan anvendes som

dokumentation for udført arbejde. Maskinstationer, der eksempelvis udfører ukrudtssprøjtning på andres vegne, kan med dataopsamlingsmodulet efterfølgende aflevere en digital dokumentation for, hvor på marken der er sprøjtet. Ligeledes vil de registrerede informationer kunne bruges til at analysere årsagerne til f.eks. for dårligt sprøjteresultat. Med informationerne i hånden er det muligt at sige, om et givent område i marken er behandlet, samt hvor mange af dyserne, der var åbne hhv. lukkede.

Det er i øvrigt kendt viden, at herbiciddoseringen bl.a. skal afpasses efter ukrudtstætheden i marken. Det er dog ofte et problem, såvel økonomisk som med hensyn til tidsforbruget, at få lavet de nødvendige registreringer af ukrudtstæthed i marken. Et nyligt afsluttet projekt om beslutningsstøttesystemet Planteværn Online viste, at den manglende tid til markregistreringer var en vigtig årsag til, at Planteværn Online ikke har opnået den store udbredelse i praksis (Jørgensen et al., 2007). Kunne ukrudtsfotos fra cellesprøjtningen gemmes i en central database, vil der være mulighed for at udnytte disse på forskellig vis. Den ultimative anvendelse er en artsidentifikation af hver enkelt ukrudtsplante (Søgaard, 2005).

De nævnte ukrudtsfotos ville dog også kunne benyttes på mindre sofistikeret vis. Med afsæt i de registrerede oplysninger om antallet af sprøjtede og usprøjtede felter (der jo er en direkte afspejling af ukrudtsintensiteten), er det muligt at vurdere om doseringen skal justeres op eller ned til næste sprøjtning. Dette gælder ikke kun inden for den aktuelle vækstsæson i den pågældende majsmark, men vil formentlig også kunne bruges til at graduere doseringer af herbicider i andre afgrøder, som måtte dyrkes i sædskifte med majs.

Majs er en afgrøde, som ofte dyrkes på samme areal år efter år, primært fordi majs kvitterer positivt for et varmt lokalklima, og der derfor ofte vælges marker med læ og god soleksponering. En af ulemperne ved dette er, at det manglende sædskifte giver gode muligheder for opformering af gråbynke, tidsler og andre rod ukrudsarter. Et af de tidligere nøgleherbiciderne mod disse ukrudsarter, clopyralid (handelsnavn: Matrigon) er efter seneste revurdering ikke længere godkendt til majs på grund af, at udvaskningsmodeller forudsiger uacceptabel udvaskning af aktivstoffet. Derfor må der i praksis anvendes alternative, og ikke så effektive ukrudtsmidler mod rod ukrudtet. Anvendelse af cellesprøjtning, hvor det eksempelvis kan dokumenteres at under 10% af arealet bliver behandlet, kunne måske åbne for en ny godkendelse af clopyralid og måske også andre aktivstoffer, som hidtil ikke har kunnet godkendes i majs, men som ved cellesprøjtning samlet set ville kunne minimere miljøbelastningen ved ukrudtsbekæmpelsen i majs.

En anden problemstilling, hvor cellesprøjtning kan bidrage, er dyrkning af GMO-afgrøder. Majs er en af de afgrøder, hvor sorter med tolerance over for glyphosat er under afprøvning i Danmark. Det har været diskuteret, om dyrkning af disse GMO-afgrøder vil være en gevinst for miljøet (Lassen *et al.*, (2008), eller om resultatet vil blive klinisk rene majsmarker uden indhold af rest ukrudt, som bl.a. kunne tjene som fødegrundlag for forskellige dyr. Cellesprøjtning vil i den forbindelse kunne bidrage ved at muliggøre en reduktion af den nødvendige mængde glyphosat til at bekæmpe ukrudt på et givet areal, men vil ikke nødvendigvis resultere i en større mængde rest ukrudt.

Cellesprøjtning giver dog mulighed for at lægge forskellige tærskler ind for ukrudtsbekæmpelse i en given celle, således at der kan lægges størst vægt på at

bekæmpe det ukrudt, som står nærmest majsplanterne, og som konkurrerer stærkest med disse. Derved kan man formentlig tolerere en vis mængde ukrudt mellem rækkerne til fordel for naturindholdet på marken. Der er ikke gennemført undersøgelser af dette, men det er en interessant mulig sidegevinst ved anvendelse af cellesprøjtning i majs og andre konkurrencesvage rækkeafgrøder.

Det valgte ISO-format for automatisk dataoverførslen af sprøjtetekniske data understøtter endvidere overførsel af en lang række andre redskabsdata. Dette kan udnyttes, hvis sprøjtens aktuelle flowmålinger, dvs. den udsprøjtede mængde i l/ha, også opsamles og sendes til den centrale server. Allerede i dag er dataopsamlingsmodulet således i anden sammenhæng udvidet med en serielport, så en Hardi 5500 sprøjtecomputer kan indlæse redskabsdata, herunder flowmålinger. På længere sigt kunne den type dokumentation også tænkes anvendt som gyldig dokumentation for overholdelsen af den geografiske udstrækning af en behandling samt behandlingsintensiteten på arealer, hvor jordbruget er underlagt miljømæssige restriktioner.

I 2005 blev sporbarhedsdirektivet (EU178/2002) indført i EU, hvilket på et tidspunkt antageligt vil betyde, at varer, der har en udførlig sporbarhed får en højere værdi end varer, hvor produktionsforholdene ikke kan dokumenteres. I dag gør dette sig kun gældende for meget få varegrupper. Alternativet kunne også være, at sporbarhed og dokumentation i stedet for at udløse en merpris bliver selve adgangsbilletten til markedet.

Uanset om det bliver det ene eller det andet, vil dette dokumentationsarbejde skulle udføres, og dermed kunne et automatisk registreringsystem svarende til det ovenfor udviklede system med et slag få ekstra interesse – ikke blot til registrering af pesticidanvendelse, men også til registrering af andre relevante markoperationer, eksempelvis husdyr- og handelsgødningsudbringning.

For at komme dertil kræves et brugerinterface, der gør det muligt at indtaste, hvad man er i gang med at udføre i marken. Traktorføreren skal hermed ved hver arbejdsoperation indtaste præcist, hvilken type gødning eller sprøjtemiddel, han nu har i tanken. Dette vil være besværligt og indebære en relativ stor risiko for fejlregistreringer. Kunne denne sidste del også automatiseres, ville dette trivielle registreringsarbejde ikke længere skulle udføres af landmanden, og der kunne være meget, der talte for at udbrede automatisk dataregistrering til en lang række områder. Der vil naturligvis være et etisk aspekt, eftersom jordbrugeren med denne funktionalitet installeret i sine landbrugsmaskiner let vil kunne føle sig som en del af et overvågningssamfund. Om dette kan retfærdiggøres af, at landmanden alligevel skulle foretage de tilsvarende registreringer, bør analyseres nærmere.

Dataopsamlingssystemet er som beskrevet tidligere udvidet til også at kunne håndtere central lagring af billeder. Selvom ISO-protokollen ikke var særligt egnet til realtids-overførsel af billeder, er det dog i nærværende projekt demonstreret, at ukrudtsbilleder kan overføres og lagres centralt tilsvarende sprøjte-styringsinformationerne. Projektet omfattede ikke udvikling af en brugerflade samt funktionalitet til yderligere billedeanalyse. Alligevel åbner projektets resultat for nye perspektiver mht. en efterfølgende analyse af markens ukrudtsbestand. Rent manuelt vil det være muligt at udtrække og visuelt analysere et udsnit af billederne for derigennem at give et groft skøn over markens ukrudtssammensætning. Dette manuelle arbejde vil dog være uendeligt tidskrævende, hvis det skulle have et nogenlunde repræsentativt

omfang for en hel mark. Det ville være langt mere perspektivrigt, hvis de udviklede algoritmer til digital ukrudtsgenkendelse på artsniveau (Søgaard, 2005) omlægges til at kunne afvikles på en web-server. Hermed ville man – med afsæt i de indkomne billeder fra marken – kunne producere detaljerede kort over ukrudtssammensætningen på markniveau. I praksis ville analysearbejdet sandsynligvis skulle sættes i gang som natlige batchkørsler på serveren, da det kræver overordentligt meget tid og processorkraft at analysere det meget store antal billeder, der skal analyseres pr. hektar. Denne del er ikke afprøvet i nærværende projekt, men alt tyder på, at det rent teknisk vil være muligt. Kvaliteten af resultatet vil primært afhænge af algoritmernes evne til at genkende ukrudt på artsniveau, samt hvor mange arter, der overordnet kan genkendes rent digitalt.

Litteraturliste

Bligaard J 2004. Dansk Markdatabase, din netbank for markdata. Mark 1, 149.

Bachalo WD, Houser MJ 1984. Phase/Doppler spray analyzer for simultaneous measurement of drop size and velocity distributions. Optical Engineering, 1984. 23: p. 583-590.

Bauckhage K, Flögel H 1984. Simultaneous measurement of droplet size and velocity in nozzle sprays, paper 18.1, in Proc. 2nd Int. Symp. of Laser Anemom. to Fluid Mech. 1984: Lisbon, Portugal.

Christensen S, Heisel T, Walter AM, Graglia E 2003. A decision algorithm for patch spraying. Weed Research 43(4), 276-284.

Danmarks Statistik 2008. Statistikbanken Online: www.dst.dk, senest besøgt 3. marts 2008.

Debian 2007. <http://www.debian.org/>

EU 178/2002. Europaparlamentets og Rådets Forordning (EF) Nr. 178/2002. http://eurlex.europa.eu/pri/da/oj/dat/2002/l_031/l_03120020201da00010024.pdf

Gerhards R, Christensen S 2003. Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. Weed Research 43, 385-392.

Giles DK, Stone ML, Dieball K 1999. Distributed network system for control of spray droplet size and application rate for precision chemical. Precision Farming, 1999: 857-866.

Hague T, Southall B, Tillett NA 2002. An autonomous crop treatment robot: Part II. Real time implementation. International Journal of Robotics Research, 21(1), 75-85.

Heisel T, Christensen S 1999. A digital camera system for weed detection. Proc. of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, 1998, Editors: Robert, P.C., Rust, R.H.; Larson, W.E., Madison, USA: American Society of Agronomy, Part B, 1569-1577.

Jensen PK, Spliid NH 2003. Deposition of pesticides on the soil surface. Pesticides Research, 65. Danish Environmental Protection Agency, 59 pp.

Jørgensen LN, Noe E, Langvad AM, Rydahl P, Jensen JE, Ørum JE, Pinnschmidt H, Bøjer OQ 2007. Vurdering af Planteværn Onlines økonomiske og miljømæssige effekt. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen Nr. 115, Miljøstyrelsen, København.

Lassen J, Nielsen DE, Vestergaard L, Sandøe P 2007. Miljøvenlige genmodificerede afgrøder? Vil landmændene have dem, og vil de blive brugt

til gavn for naturen? Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen, 112, Miljøstyrelsen, København.

Libdc1394.007. <http://sourceforge.net/projects/libdc1394/>

Local Environmental Risk Assessments for Pesticides (Lerap).
http://www.pesticides.gov.uk/safe_use.asp?id=97

Miljøstyrelsen 2007. Bekæmpelsesmiddelstatistik 2006. Salg 2004, 2005 og 2006. Behandlingshyppighed 2006. Miljøstyrelsen, København.

Middeldatabasen 2008. Online: www.middeldatabasen.dk .

Miller PCH, Paice MER, Ganderton AD 1997. Methods of controlling sprayer output for spatially variable herbicide application. Brighton Crop Protection Conference - Weeds. Vol.2: 641-647.

Mugele RA, Evans HD 1951. Droplet size distribution in sprays. Industrial and Engineering Chemistry 43, 1317-24.

Olsen HJ 2006. Measuring the weed cover ration in cereal crops by means of image analysis. Manuscript at Danish Institute of Agricultural Sciences, Dept. of Agricultural Engineering. To be submitted for publication in international refereed journal.

Pedersen CÅ (redaktør) 2006. Oversigt over Landsforsøgene 2006, kapitel U, Majs.

Rydahl P 2006. Crop Protection Online - now also including maize. Plantekongres 2006. Sammendrag af indlæg: 483-484.

Saffmann M, Buchhave H, Tanger H. 1984 Simultaneous measurement of size, concentration and velocity of spherical particles by a laser Doppler method, paper 8.1, in Proc 2nd Int. Symp. of Laser Anemom. to Fluid Mech. 1984: Lisbon, Portugal.

Søgaard HT, Olsen HJ 2003. Determination of crop rows by image analysis without segmentation. Computers and Electronics in Agriculture 38, 141-158.

Søgaard HT 2005. Weed classification by active shape models. Biosystems Engineering, Vol. 91 (3), pp. 271-281.

Søgaard HT 2007. Personlig kommunikation.

Tian L 2002. Development of a sensor-based precision herbicide application system. Computer and Electronics in Agriculture 36, 133-149.

VandeZande JC, Michielsen JMGP, Stallinga H, Porskamp HAJ, Holterman HJ, Huijsmans JFM 2002. Environmental drift control. Aspect of Applied Biology 66: 165-176.

Woebbecke DM, Meyer GE, Bargaen KV, Mortensen DA. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. Transactions of the ASAE 38(1): 259-269.