

## Automatisk avstängning av sprutan

*Automatic boom control on sprayers*

**Johan Mickelåker & Sven Axel Svensson**

Jordbruk-odlingssystem, teknik och produktkvalitet

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

**Rapport 2009:1**

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86197-00-1

Alnarp 2009





**LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK**

Rapportserie

# Automatisk avstängning av sprutan

## *Automatic boom control on sprayers*

**Johan Mickelåker & Sven Axel Svensson**

Jordbruk-odlingssystem, teknik och produktkvalitet

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

**Rapport 2009:1**

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86197-00-1

Alnarp 2009



## Förord

Många olika insatser har under senare år genomförts för att minska riskerna vid hantering av kemiska bekämpningsmedel. Mycket har förbättrats men fortfarande visar undersökningar att det är en bit kvar och att mer behöver göras. Denna rapport beskriver hur modern teknik, anpassad för precisionsodling, kan vara en viktig pusselbit för ett säkert växtskydd. Rapporten beskriver vilka krav som bör ställas på utrustningen, hur den passas in i produktionssystemet, hur den kan användas och vilket resultat vi kan förvänta oss.

Förhoppningen är att nuvarande och framtida användare ska få tips om hur utrustning för automatisk avstängning av sprutan kan öka den egna kontrollen av växtskyddet, samtidigt som man kan få betalt för insatsen genom minskad preparatkostnad. Tillverkare och leverantörer kan se hur deras system passar in på de funktionskrav och kontrollmätningar som redovisas i rapporten. Beslutsfattare och andra intresserade av säkert växtskydd kan förhoppningsvis bli inspirerade till att lära sig mer om hur modern maskinteknik kan utvecklas för att hjälpa föraren att hantera bekämpningsmedel på lämpligt sätt.

Projektet har i huvudsak finansierats av Stiftelsen Lantbruksforskning, SLF, men Partnerskap Alnarp har också stött projektet genom att ge extra resurser till att studera de ekonomiska förutsättningarna för framtida användaren av automatisk avstängning på sprutan. Lantmännen och Jordbruksverket har varit delaktiga i projektets referensgrupp. Precisionsodling Sverige, POS, har varit behjälpliga genom att lägga ut de beräkningsmallar som tagits fram i projektet på sin hemsida. Mats Söderström, SLU Skara, har varit ett viktigt stöd för arbetet med styrfiler, kartor och beräkningar i GIS. Ett stort tack även till försöksvärden Tureholms Maskinstation AB, som tålmodigt har ställt resurser till förfogande för projektets genomförande.

Alnarp i februari 2009

Jan Erik Mattsson

Chef för Område Jordbruk – odlingssystem, teknik och produktkvalitet



## Sammanfattning

Sedan 1997 finns det i Sverige tydliga föreskrifter och råd om olika skyddsavstånd som ska beaktas vid spridning av kemiska bekämpningsmedel. Undersökningar visar att reglerna inte alltid efterlevs, vilket kan bero på slarv, men också på misstag eftersom det vid fältarbete kan vara svårt att hålla reda på var alla brunnar, diken och vattendrag finns. Även för de sprutförare som försöker efterleva reglerna om skyddsavstånd, uppstår problem eftersom sprutrampen i normala fall endast kan regleras i breda sektioner, vilket lämnar onödigt stora områden oskyddade för exempelvis sjukdomsangrepp.

Tidigare studier, från bl.a. Tyskland och Holland, har visat möjligheter med att med hjälp av GNSS (Global Navigation Satellite Systems) styra växtskyddsinsatserna till förutbestämda mål inom fältet. Digitala kartor, skapade i GIS (geografiska informationssystem), kan användas för att skapa och hantera underlaget för styrsystemen.

Projektets mål var att utveckla och studera ett system av hårdvara och mjukvara, varigenom man kan kombinera positionering via GNSS med individuell avstängning av enskilda spridare längs bommen, för att därigenom kunna styra spridningen över fältet och t.ex. undvika att bespruta skyddsvärda områden definierade i ett GIS.

Eftersom det vid projektets start fanns utrustning på marknaden som klarade delar av målsättningen, så baserades utvecklingsarbetet på kommunikation med olika tillverkare. Tillverkare informerades om funktionskrav samt resultat från användande i praktik och validering i försök. Ett kommersiellt system, Legacy 6000 från Teejet, köptes in. Första åren användes styrsystemet på en konventionell spruta med 24 m ramp, indelad i sju sektioner. Utvärdering av systemets funktion gjordes dels genom mätning av precision och noggrannhet i fält, dels genom praktiskt växtskyddsarbete på drygt 2000 ha.

Under projektets sista år utvecklades en specialbyggd spruta. Legacy 6000 monterades på en mindre, buren, lantbruksspruta med 6 m ramp. Magnetventiler användes för att erhålla individuell munstycksavstängning. Mätningar i försök visade vilken noggrannhet som kan förväntas av systemet, samt vilka parametrar som kan justeras för att reducera felmarginaler och därmed öka nyttan av systemet. Med den positioneringsnoggrannhet som normalt används i lantbruket (DGPS) erhöles ett fel på ca +/- 1 m, medan ett system med magnetventiler och RTK GPS kunde halvera detta. Detta bedöms vara betydligt bättre än vad som är möjligt att åstadkomma vid manuell reglering.

Olika metoder för att mäta in fält och skapa styrfiler har utvecklats och utvärderats. Styrfiler kan skapas utifrån flygfoto eller vid sprutning av fältet den första gången, men högst noggrannhet erhålls vid inmätning med RTK GPS. För att minska kostnaden för skapandet av styrfiler kan datainsamling göras i samband med exempelvis markkartering.

En metod för att beräkna dubbelsprutad yta vid användande av olika spridningsutrustning har utvecklats i projektet. Dataunderlaget från inmätning i fält användes som exempel och för att skapa en förenklad beräkningsmall, lämplig att använda av rådgivare och lantbrukare som vill beräkna ekonomisk nytta med automatisk rampavstängning. Generellt sett kan en lantbrukare spara 1-5 % av preparatkostnaden vid användande av automatisk rampavstängning och individuell munstycks kontroll.

Utrustningen har visats på flera lantbruksmässor och demonstrationer från 2006 till 2008. Antalet kommersiella system har ökat kraftigt, men användningen av GNSS-styrda sprutor var vid projektets slut begränsad. Enligt uppgift pågår utveckling av individuell munstycks kontroll som ett samarbetsprojekt mellan tre amerikanska företag, vilket visar marknadens intresse och möjligheter för framtida implementering.

## Summary

Use of non-sprayed buffer zones is a widely used method to protect sensitive objects within or adjacent to fields treated with pesticides. These buffer zones should protect the objects from pesticide residues caused by spray drift and leakage. The use of untreated buffer zones has been mandatory for Swedish farmers since 1997. E.g. recommended minimum safe distances to sensitive areas for spray situations are 12 m to wells, 6 m to streams, ponds or lakes, and 1 m to ditches and drainage wells. Studies have shown that buffer zones are not always respected and that there is a need to improve the protection of sensitive objects. On a typical sprayer, all nozzles on a section of the boom are either on or off. A higher resolution in sprayer control would reduce the untreated area but still be able to respect the buffer zones.

German and Dutch research have shown how GNSS-controlled (Global Navigation Satellite System) application of pesticides can be targeted to defined areas in the field. GIS (Geographic Information System) was used to define the areas to be sprayed.

The objectives of this study were to develop and evaluate a system that automatically could shut off single nozzles along the spray boom to avoid pre-defined areas in the field. Such a system could improve management of buffer zones, reduce the risk for mistakes and improve record keeping from spraying activities.

At the time of project start, there were commercial controllers that could fulfil parts of the requirements involved in the project. A commercial spray controller, Legacy 6000 (Teejet), could consider pre-defined areas by using the field boundary features. During 2006 and 2007, the system was used in practice on a conventional trailed sprayer with a 24 m boom and 7 boom sections. Experiences from mapping and spraying were documented. Also accuracy of the system was studied in an experiment using video recorder and analysis of the video frame by frame. Results were communicated with several manufacturers of sprayer controllers to improve development of coming products.

The following season, 2008, a small sprayer with a 6 m boom and individual nozzle control was constructed. This year, the study of accuracy focused on small circular buffer zones, e.g. close to drainage wells. Spraying was done on an asphalt surface during a sunny day, leaving wet and dark marks when nozzles were activated. The whole buffer zone was photographed directly after spraying, and the pictures were later analysed manually to determine the accuracy of the sprayer. Different controller settings, spray nozzles and GPS receivers were used. The accuracy of a conventional sprayer with DGPS was found to be about +/- 1 m. Accuracy of the sprayer with solenoid valves and RTK GPS was about half of this, i.e. +/- 0,5 m. This is probably better than the possibilities with manual control.

Different methods for mapping fields and creation of boundary files were evaluated and compared. Mapping could be done through digitalisation of an aerial photograph or when spraying the field for the first time. Best accuracy is achieved if mapping could be done with a RTK GPS on e.g. an ATV.

A method for calculation of double-sprayed area has been developed in the project. The mapped fields in the project have served as a base for a simplified tool that can be used by farmers and advisors to determine the advantages with more accurate sprayer control. In general terms, a farmer can save 1-5 % of the pesticide cost if a GNSS-controlled sprayer with individual nozzle control is used, instead of a conventional sprayer.

The project sprayers have been demonstrated on several field shows and other activities with farmers. The number of controllers for automatic boom control on the Swedish market has increased during the project time.



# Innehållsförteckning

Bakgrund .....	1
Skyddsavstånd .....	1
Tidigare studier .....	2
Syfte .....	2
Material och metoder .....	3
Beskrivning av Teejet Legacy 6000 .....	3
Beskrivning av GPS-mottagarna .....	6
Sprutsystem Lindströms i Lomma .....	6
Sprutsystem RTK Hardi .....	7
Mätningar Lindströms i Lomma .....	7
Mätningar RTK Hardi .....	8
Inmätning av fält .....	10
Praktisk användning .....	11
Beräkningar dubbelsprutad yta .....	11
Teoretiska beräkningar .....	11
Dokumentationsfil för beräkning av dubbelsprutad yta .....	11
Informationsspridning .....	11
Resultat .....	12
Funktionskrav .....	12
Mätningar Lindströms i Lomma .....	12
Mätningar RTK Hardi .....	16
Inmätning av fält och skapande av styrfiler .....	17
Hantera dokumentationsfiler .....	17
Praktisk användning .....	18
Teoretiska beräkningar .....	20
Beräkning av dubbelsprutad yta från dokumentationsfil .....	22
Implementering på marknaden .....	23
Diskussion .....	24
Mätningar Lindströms i Lomma .....	24
Mätningar RTK Hardi .....	24
Inmätning av fält .....	25
Praktisk användning .....	25
Beräkningar av dubbelsprutad yta .....	26
Implementering och framtidsutsikter .....	27

Slutsats .....	27
Referenser.....	28
Bilaga 1: Resultat från kontrollmätning med RTK Hardi .....	29
Bilaga 2: Exempel från kalkyler på POS-hemsida.....	32

# Bakgrund

## Skyddsavstånd

I miljöbalkens 14:e kapitel 18 § står det följande angående spridning av bekämpningsmedel:

”Åtgärder skall vidtas för att motverka att medlet sprids utanför avsett spridningsområde.”

Detta uppnås genom att använda lämplig spridningsmetod och genom att hålla skyddsavstånd till känsliga objekt utanför spridningsområdet. Vidare i Naturvårdsverkets föreskrifter anges följande:

”Vid spridning och annan hantering av bekämpningsmedel samt vid rengörning av spridningsutrustning är den som utför detta skyldig att bestämma och iaktta de skyddsavstånd som med hänsyn till omständigheterna är nödvändiga till skydd för vattentäkter, sjöar och vattendrag samt omgivande mark och annans egendom” (SNFS 1997:2, § 5).

För att avgöra hur stort skyddsavstånd som ska lämnas ska föraren ta hänsyn till:

- på platsen rådande temperatur och vindförhållanden
- spridningsområdets utbredning i vindriktningen
- jordart, och markstruktur samt markens lutning mot omgivningen på den plats där spridningen ska ske
- bekämpningsmedlets egenskaper
- omgivningens känslighet för medlet (SNFS 1997:2, § 6)

Naturvårdsverkets allmänna råd 97:3 ger vägledning till hur skyddsavstånden ska bestämmas. Där delas skyddsavstånden upp i *vindanpassade* och *markanpassade* skyddsavstånd. Som minsta markanpassat skyddsavstånd vid spridning anges:

- 1 m till diken och dräneringsbrunnar
- 6 m till sjöar och vattendrag
- 12 m till dricksvattenbrunnar

Vindanpassade skyddsavstånd är beroende av väderleken, medan de markanpassade beror på relativt fasta förhållanden. Detta gör att markanpassade skyddsavstånd kan bestämmas långt i förväg och ligger fast från år till år. Vindanpassade skyddsavstånd måste däremot bestämmas på fältet vid spridningstidpunkten.

Enligt enkätundersökningar gjorda vid Näringslivets undersökningsinstitut (NUI) är det många av landets sprutförare som inte följer de allmänna rådens rekommendationer om skyddsavstånd (NUI, 2002). Även för de förare som följer de allmänna råden, innebär dagens konventionella sprutor problem vid skyddszonerna. Bredden på rampdelarna är 3 till 12 m vilket innebär dålig precision vid avstängning för skyddsobjekt. Att ha enskild avstängning av varje munstycke på rampen skulle öka precisionen och samtidigt minska det överlapp som normalt uppkommer vid kilar.

Ett alternativt skydd som har förts fram när det gäller dräneringsbrunnar, är att gräva ner brunnen eller täcka den med halm. Nedgrävning är kostsamt och kan också vara i strid med dikningsföretagets villkor. Det senare alternativet med täckning ersätter inte skyddszonen, eftersom det inte har kunnat visas att det har tillräcklig effekt (Torstensson, 2001).

Användningen av navigationssystem i lantbruket har ökat under de senaste åren. GNSS är ett samlingsnamn för positioneringssystem via satelliter (Global Navigation Satellite System) (Engfeldt & Jivall, 2003). GNSS, tillsammans med GIS (geografiska informationssystem) skulle kunna bli viktiga verktyg även för att hålla koll på skyddszoner vid kemisk bekämpning.

### **Tidigare studier**

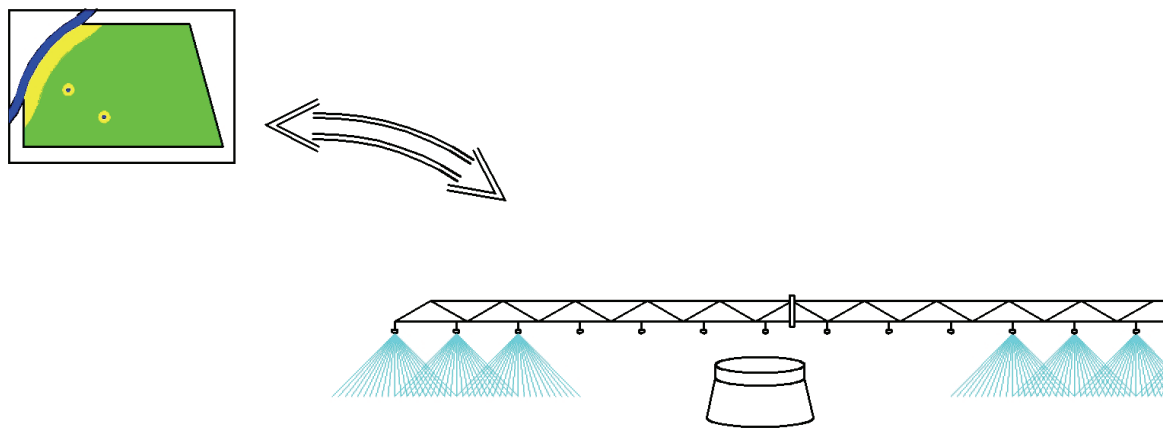
På Agritechnica 2003 presenterade elektronikföretaget Müller-Elektronik, tillsammans med Pessl Instruments GmbH och Herbert Dammann GmbH, ett ”avdrifts-optimerings-system”, Metos AOS. Systemet bestod av en väderstation och en dator som monterats i förarhytten. Utifrån data om framkörningshastighet, vindriktning och vindhastighet kunde datorn varna föraren om det förelåg stor risk för vindavdrift. Beroende på sprutans utrustning kunde systemet automatiskt byta till munstycke med grövre duschkvalitet för att minska risken för vindavdrift. Den framtida planen var att det skulle bli möjligt att koppla systemet till ett positioneringssystem för att ta hänsyn även till geografiska data. Detta skulle då ge ett system som kan beräkna avstånd till vattendrag, för att på så sätt varna föraren om bekämpning sker inom angivet skyddsavstånd. Fram till 2008 har det kommersiella systemet inte vidareutvecklats.

Vid Wageningen University and Research Centre, Holland, presenterades i början av 2000-talet ”PreciSpray”, ett system för fruktsprutning som anpassar avståndet mellan luftutlopp/spridare och bladverk, samt antal öppna spridare, efter en digital, tredimensionell, karta. Sprutekipagets positionering skedde via GPS. Den ursprungliga tanken var att flygfotografering skulle kunna lämna tillräckligt noggrann information om bladverkets struktur, vilket inte lyckades i projektet. Istället fick man mäta in trädens bladverk manuellt (Meron m.fl., 2003).

Projektets finansiär, Stiftelsen Lantbruksforskning SLF, bad projektgruppen genomföra en förstudie innan detta projekt kunde beviljas. Förstudien skulle belysa vilka miljövinster som kunde förväntas med föreslaget projekt om automatisk avstängning av sprutan. Ur förstudien framkom det att miljövinster i form av minskat överlapp och effektivare utnyttjande av åkermarken är begränsade. De kan troligtvis inte ensamt försvara investeringen i ett sådant system, men bidrar naturligtvis till systemets fördelar. Störst potentiell miljövinst skapas troligtvis genom att systemet blir automatiskt och på så sätt förhindrar misstag och slarv. Dokumentationen av växtskyddsinsatserna har också möjlighet att bli bättre och mer objektiv med ett sådant system, vilket innebär ökad livsmedelssäkerhet och bättre kontrollmöjligheter för kvalitetssäkringsprogrammen (Nilsson, 2004).

### **Syfte**

Projektets mål var att utveckla och studera ett system av hårdvara och mjukvara, varigenom man kan kombinera positionering via GNSS med individuell avstängning av enskilda spridare längs bommen, för att därigenom kunna styra spridningen över fältet och t.ex. undvika att bespruta skyddsvärda områden definierade i ett GIS.



**Figur 1.** Schematisk skiss för hur automatisk avstängning av sprutrampen var tänkt att fungera. Den digitala kartan definierar vilka munstycken som ska stängas av.

## Material och metoder

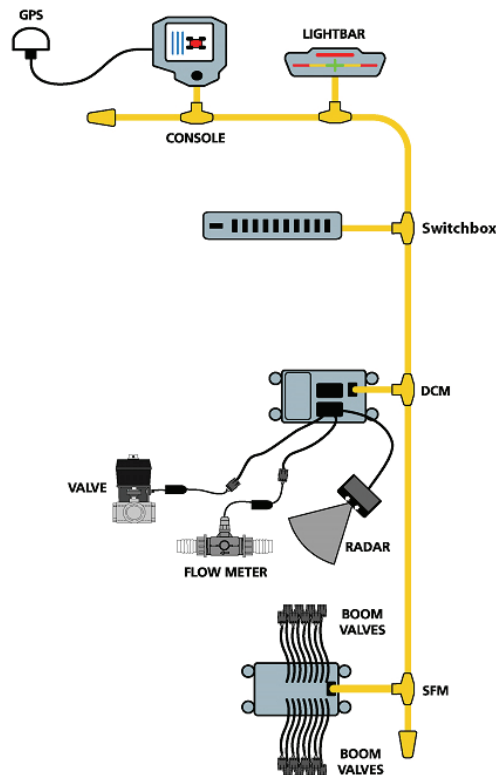
Förstudiens genomförande och bearbetning av förnyad ansökan gjorde att projektets starttid sköts framåt i tiden drygt 1,5 år. När projektet slutligen blev beviljat och arbetet med prototyputveckling skulle påbörjas, kom det till projektgruppens kännedom att det på marknaden fanns styrsystem som skulle kunna användas för att uppfylla delar av projektets mål. Australiensiska Farmscan med sitt Farmlap var det första styrsystemet som projektgruppen kom i kontakt med. Farmlap kunde dock inte hantera enskild munstycksavstängning och fanns heller inte representerade på den svenska marknaden. Senare fick projektgruppen också kännedom om att Midtech Technologies, som ingick i Spraying Systems (numera Teejet), hade ett liknande styrsystem, Legacy 6000. Spraying Systems var representerade i Sverige genom LH Agro (numera Agrotech, Ystad), som också var villiga att sälja ett sådant system till projektet. Legacy 6000 kan hantera maximalt 30 delavstängningar, vilket begränsar arbetsbredden om individuell munstycksavstängning önskas.

Projektgruppen konstaterade att kommersiella aktörer låg före i utvecklingsarbetet av automatisk avstängning av sprutan, men konstaterade också att systemen inte var avsedda att användas för de miljöskyddande funktioner som projektet eftersträvade. Beslut togs därför att inte utveckla ett nytt system från grunden, utan istället försöka modifiera befintliga system och funktioner för att passa projektets syfte. Projektets utvecklingsdel koncentrerades till att kommunicera funktionskrav med tillverkarna, utveckla arbetsmetoder för hantering av ingångsdata, samt kommunicera resultat från utvärdering av ett kommersiellt system för automatisk avstängning av sprutan. Ett system köptes in till projektet, Legacy 6000, men något specificerat samarbete med tillverkaren har inte utvecklats. Kommunikation av funktionskrav och erfarenheter har förts även med andra leverantörer av liknande utrustningar.

### **Beskrivning av Teejet Legacy 6000**

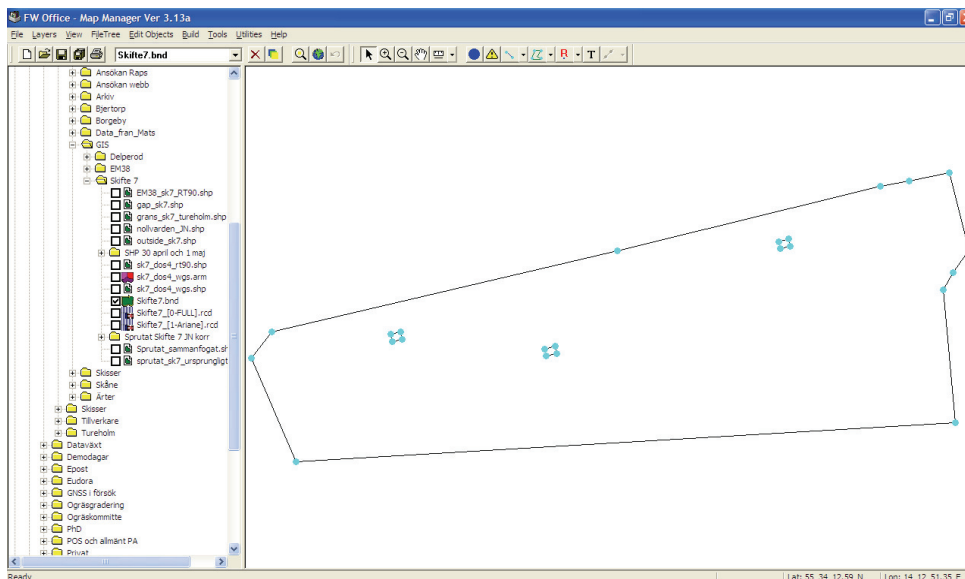
Legacy 6000 från Teejet är avsett att användas till flera olika uppgifter inom maskinkontroll för precisionsodling. Systemet består av flera olika moduler som kommunicerar via CAN (Controlled Area Network). CAN-bussen består av endast fyra ledare, vilket underlättar kabeldragning avsevärt. Beroende på vilken uppgift man vill att systemet ska utföra så används olika moduler. För sprutning med automatisk rampkontroll används en huvudenhet (konsol), en eller flera manöverenheter (Switchbox), en kontrollenhet för dosering (DCM) samt en eller flera kontrollenheter för rampaktivering (SFM). GPS-mottagaren ansluts till

huvudenheten. En ljusramp (Lightbar) finns som tillbehör för att underlätta navigering av fordonet. Föraren kommunicerar med systemet genom knappar och skärm på huvudenheten, ljusrampen, samt genom att manövrera reglagen på manöverenheten. Figur 2 visar systemets uppbyggnad.



**Figur 2. Principen för uppbyggnad av Legacy 6000. De olika modulerna kommunicerar via CAN (illustration från Teejet).**

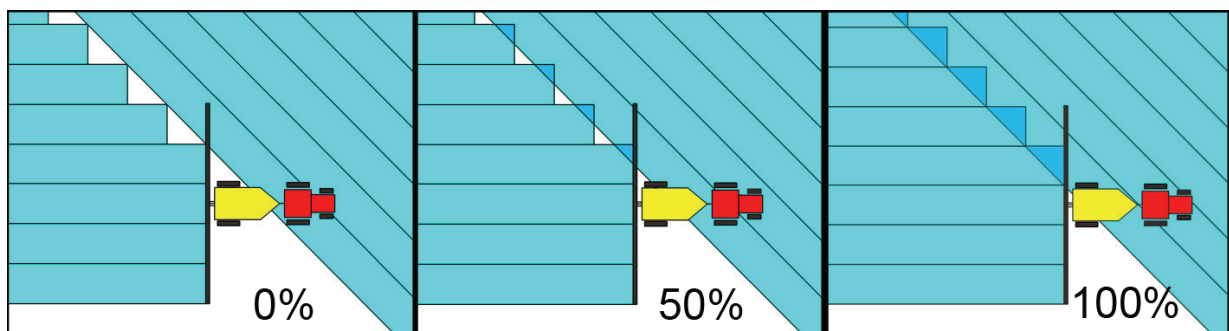
Teejet har också producerat en speciell programvara för PC till Legacy 6000 med två olika användarnivåer, Fieldware Tools och Fieldware Office (figur 3). I Fieldware kan användaren importera eller skapa det underlag som behövs för automatisk rampavstängning vid exempelvis skyddszoner. Underlaget utformas som en karta med gränspolygoner för vilka områden som ska behandlas. Gränserna markeras som antingen extern eller intern för att systemet ska förstå vilken sida av gränsen som ska lämnas obehandlad. I Fieldware kan användaren också öppna upp de dokumentationskartor som skapas i Legacy 6000, skriva ut dem samt exportera data i andra filformat, bl a ESRI Shape. Det finns också möjlighet att själv utforma systemets listor på produkter, förare, kunder etc. Fieldware Office erbjuder utökade möjligheter att skapa och hantera tilldelningsfiler för variabel applicering, sk VRA.



**Figur 3. Mjukvaran Fieldware används för att skapa gränspolygoner för automatisk avstängning av sprutrampen. Den stora polygonen är markerad som extern, de tre små är markerade som interna.**

GPS-mottagaren ger en position till Legacy 6000. Genom att lagra föregående position kan systemet också beräkna hastighet och riktning. Systemet konfigureras med redskapets geometriska uppbyggnad (total arbetsbredd, antal sektioner, sektionsbredd för varje sektion, etc) och antennplacering i förhållande till redskapet (höjd, förskjutning i sidled, avstånd i längdriktning mellan ramp och antenn). Med hjälp av position och konfigureringsdata kan koordinater för varje rampsektion beräknas. Dessa jämförs med gränspolygonerna och dokumentationen som visar redan behandlad yta. Det automatiska styrsystemet kan även ta hänsyn till fördröjningar i ventiler och sprutans vätskesystem. Utifrån sprutans hastighet kan systemet förutsäga när signal om avstängning av rampen ska skickas, för att sprutduschen ska slås av vid rätt plats.

Eftersom sprutrampens avstängning sker i fasta (diskreta) steg, dvs en sektion i taget, så behöver föraren ange om styrsystemet ska undvika överlapp eller mistor (se figur 4). Med inställningen 0 % menas att sektionen stängs när en ände av sprutrampen är inne på området som redan är behandlat, 50 % avser centrum på sektionen och 100 % avser båda ändarna.



**Figur 4. Olika inställningsalternativ för automatisk rampavstängning. 0 % undviker överlapp och 100 % undviker mistor. Med inställningen 50 % motsvarar överlapp och mistor ungefär lika stor yta.**

I princip finns det två sätt att starta en behandling (ett uppdrag); med eller utan fältgränser. Utan fältgränser innebär att föraren startar behandlingen med en tom karta. När körningen startas så sparas kontinuerligt positionen för sprutrampen. Systemet stänger av rampsektioner som passerar redan behandlad yta. Om fältgränser används kontrollerar systemet även att rampen är inom det område som ska besprutas. Fältgränserna kan skapas i förväg (enligt ovan) eller automatiskt vid körning av yttersta varvet runt fältet.

## Beskrivning av GPS-mottagarna

TVå olika GPS-mottagare användes i projektet:

- AgGPS 332 från Trimble fanns tillgänglig under hela projektiden och gav möjlighet till relativ positionering med sk differentiell GPS (DGPS) via kodmätning. Korrektionssignalerna som användes var i huvudsak sjöfartsverkets korrektionssignal (benämnd Beacon) som överförs via radio, men också EGNOS som överförs via satellitlänk. Både Egnos och Beacon beräknas ge en absolut noggrannhet av cirka 1-2 meter, men den så kallade drag-i-drag noggrannheten (relativ avvikelse inom 15 min) beräknas vara ca 30 cm.
- AgGPS 432 från Trimble hyrdes in till projektet under projektets sista år och gav möjlighet till fasmätning på dubbla frekvenser. Tillsammans med egen basstation, med samma typ av mottagare, erhöles ett system för mätning med real-time kinematic (RTK) GPS. RTK GPS ger en absolut noggrannhet på ca 2 cm.

Vid inmätning av fält användes tjänsten nätverks-RTK från Swepos. Överföringen av korrektionssignalerna sker då via GSM-nätet.

Mer information om mottagarna finns på Trimbles hemsida. Lantmäteriet ger mer information om positionering via satellitsystem på Swepos hemsida. Se också Lilje m.fl. (2007).

## Sprutsystem Lindströms i Lomma

Under säsongerna 2006 och 2007 utvärderades Legacy 6000 i den miljö som systemet var avsett för; på en konventionell lantbruksspruta. Arbetet utfördes i samarbete med en lantbrukare i sydöstra Skåne, som vid projektets start ändå behövde investera i nytt styrsystem till sin spruta. Projektet köpte Legacy 6000 medan lantbrukaren köpte en vanlig styrande sprudator, Teejet 844-E, med tillhörande kopplingsbox och ventilpaket av samma leverantör. Styrsystemet utformades så att man enkelt kunde växla mellan Legacy 6000 och Teejet 844-E. Sprutan som användes var en Lindströms i Lomma, BSP 3600, med 24 meters ramp (figur 5). Rampen var uppdelad i sju sektioner, varav de två yttersta på varje sida var tre meter och de tre mittsektionerna var fyra meter. Vid samtliga mätningar var sprutan utrustad med vanliga spaltspridare, AXI11003 (Albuz).

GPS-mottagaren som användes var AgGPS 332 med sjöfartsverkets korrektionssignal (Beacon).



Figur 5. Under projektets första år användes Legacy 6000 tillsammans med en Lindströms i Lomma, BSP 3600. Sprutrampen var 24 meter, uppdelad på sju sektioner.



## ***Sprutsystem RTK Hardi***

För att uppnå högre precision och praktisk upplösning byggdes inom projektet en spruta med individuell styrning av enskilda munstycken. Legacy 6000 är begränsat till maximalt 30 sektioner längs rampen, vilket innebär att en konventionell sprutramp med 50 cm mellan spridarna kan vara maximalt 15 meter för att uppnå målet. En Hardi NK 400 med sex meters ramp modifierades genom att byta ut ventil- och elektroniksystem (figur 6). På varje spridarplats längs rampröret monterades magnetventiler<sup>1</sup>. Magnetventilerna var stängda i viloläge och maximalt vätsketryck var 6 bar. Effektförbrukningen för varje ventil var enligt specifikationen 15,3 W, vilket gjorde att systemet krävde en total strömstyrka av ca 15,3 A (12 ventiler och 12 VDC). Legacy 6000 utrustades med två manöverpaneler (CAN Switchbox) och två kontrollenheter för automatisk rampaktivering (SFM), eftersom varje enhet var begränsad till tio sektionsventiler och det behövdes tolv.

RTK GPS (real-time kinematic) användes för att erhålla högsta möjliga positioneringsnoggrannhet. GPS-mottagaren som användes till Hardi-sprutan var i huvudsak AgGPS 432. Basstationen placerades inom 100 m från sprutans arbetsområde. För att jämföra olika mottagare så utfördes tester också med den enklare AgGPS 332 till Hardi-sprutan.



**Figur 6. En Hardi NK 400 utrustades med 6 m ramp, ny armatur, RTK GPS samt Legacy 6000. I bakgrunden (till vänster i bilden) syns basstationen.**

## ***Mätningar Lindströms i Lomma***

En digital videokamera, Sony Handycam DCR-PC109E, användes för att dokumentera noggrannhet och precision för automatisk rampavstängning på Lindströmsprutan. Den virtuella fältgränsen passerades med sprutan medan videokameran spelade in förloppet. Fyra olika situationer ingick i mätningarna:

- Rak gräns vinkelrät mot körriktning
- Rak gräns med 45° vinkel mellan gräns och kördrag
- Skyddsområde runt brunn, 2 meter radie. Rakt kördrag.
- Skyddsområde runt brunn, 2 meter radie. Kördrag i sväng.

Videoinspelningen analyserades sedan bild för bild i mjukvaran Windows Movie Maker (Microsoft) (figur 7). Upplösningen i tid var 15 bilder per sekund, som med körhastigheten

---

<sup>1</sup> Tillverkare: ASCO Valves Inc, Modell: SCE263C003 12VDC

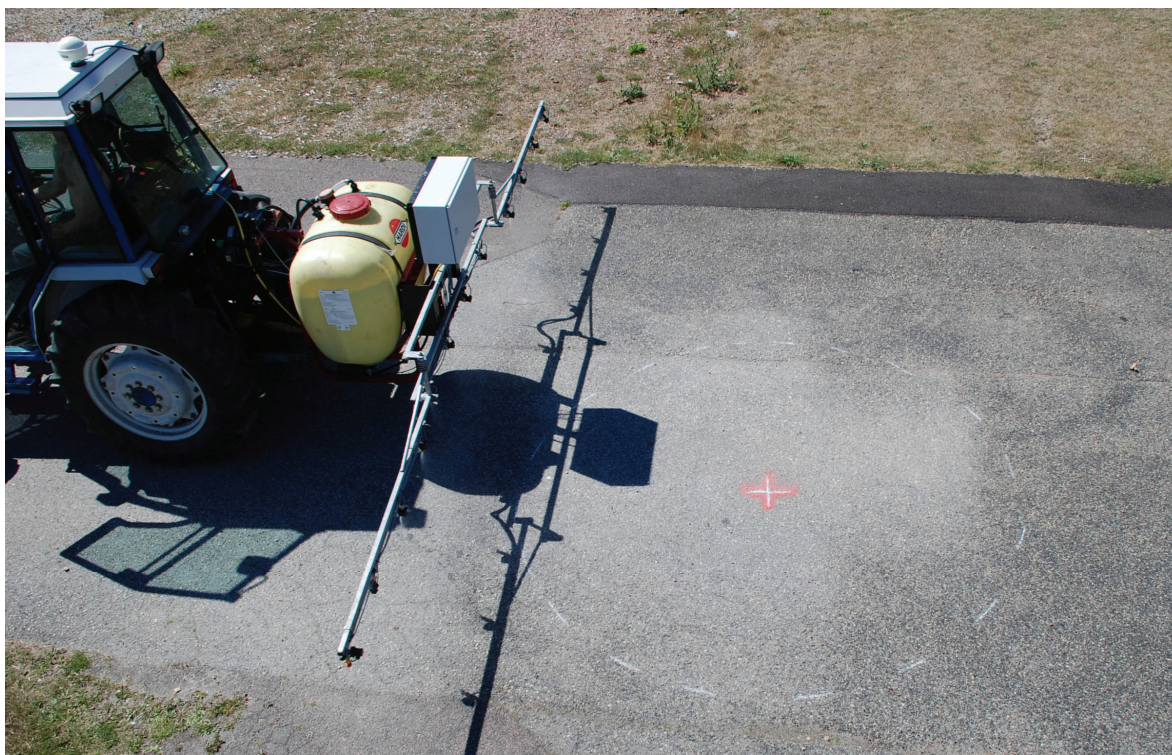
6 km/h gav en upplösning på ca 0,11 meter i körriktningen. Mätningarna med Lindströms-sprutan gjordes under säsongen 2006, då det i Legacy 6000 endast var möjligt att ange ett gemensamt värde för fördröjning av till- och frånslag.



Figur 7. Videofilmerna analyserades bild för bild när sprutan passerade gränsen, här markerad med en plastkäpp med vit flagga. Bilden till vänster visar när rampen aktiveras, bilden i mitten när sprutduschen är fullt utvecklad och nått marken, och bilden till höger visar när rampen passerar gränsen. Tidskillnaden mellan mittbilden och högerbilden gav, tillsammans med hastigheten, avståndet mellan önskad och verklig gräns.

### **Mätningar RTK Hardi**

För att dokumentera noggrannhet och precision med Hardi-sprutan, utrustad med individuell munstycksmanövrering och RTK GPS, krävdes en mätmetod med högre precision samt möjlighet att studera sprutans manövrering i två dimensioner. En fiktiv brunn med skyddszon, sammantaget en cirkel med radie 1,5 meter, markerades på en asfaltplan (figur 8). Brunnens centrum mättes in med samma RTK GPS som användes på sprutan, och styrfilen till sprutan skapades genom att skapa en cirkel med radien 1,5 meter i programvaran Fieldware Office. Positioneringssystemets basstation mättes in genom att logga satellitdata i ca 2 timmar i en datafil, som sedan skickades till Swepos för efterberäkning av basstationens position.



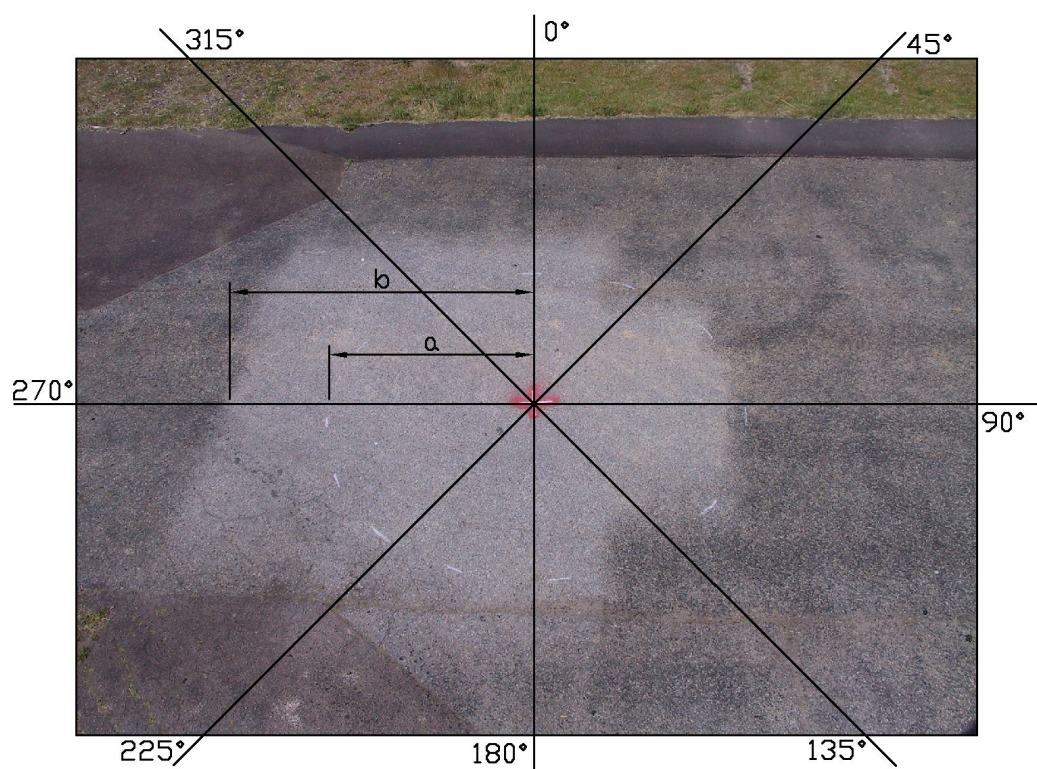
Figur 8. Försök med RTK Hardi. Sprutan kördes över en fiktiv brunn (kors) med tillhörande skyddszon (vitstreckad cirkel). Mörkfärgade området bakom sprutan har blivit besprutat medan det ljusare området inte har blivit det.

Sprutan kördes över asfaltytan med den markerade skyddszonen och direkt efter överfart fotograferades ytan snett uppifrån. Blöta områden som hade besprutats syntes tydligt på bilderna. Avståndet från centrummarkeringen till skyddszonens gräns, samt avståndet från centrum till besprutat område mättes i bilden. Genom att utgå ifrån skyddszonens verkliga bredd på 1,5 meter kunde det verkliga avståndet till besprutat område beräknas. Mätningen gjordes i åtta riktningar på bilden (figur 9). Vätskan avdunstade snabbt och upprepning av försöket kunde göras på samma plats inom ca två minuter. Totalt provades sex olika systemkonfigurationer, med tio upprepningar för varje konfiguration (tabell 1). Standardspridarna (TP11003VS) gav duschkvalitet medan injektorspridarna (AVI11003) gav grov duschkvalitet. Körhastigheten var 6 km/h vid samtliga körningar. Mätningarna med Hardi-sprutan utfördes under 2008, då det hade blivit möjligt att i Legacy 6000 definiera olika tid för fördröjning vid fränslag resp. tillslag.

Tabell 1. Systemkonfigurationer som provades på Hardi-sprutan

	Radie gräns <sup>1</sup> , m	GPS	Fördröjning fränslag	Fördröjning tillslag	Munstycke
I	1,5	RTK	0,1	0,1	Teejet TP11003VS
II	2	RTK	0,1	0,1	Teejet TP11003VS
III	1,5	RTK	0,5	0,1	Teejet TP11003VS
IV	1,5	RTK	0,1	0,1	Albuz AVI11003
V	1,5	DGPS Beacon	0,1	0,1	Teejet TP11003VS
VI	1,5	DGPS EGNOS	0,1	0,1	Teejet TP11003VS

<sup>1</sup>Anges som *Mapped boundary* i bilaga 1



Figur 9. Beskrivning av beräkningsmetod för hur väl sprutan följde styrfilen. Avståndet a betecknar skyddszonens bredd, som var 1,5 meter i verkligheten. Avståndet b betecknar avståndet från centrum till området som blivit besprutat. Genom att mäta både a och b i bilden så kunde det verkliga avståndet mellan skyddszon och besprutningsgräns beräknas. Beräkningen gjordes i åtta riktningar.

## **Inmätning av fält**

För att skapa styrfiler till Lindströmsprutan behövdes försöksvärdens fält mätas in. Hörnpunkter och brunnar mättes in med nätverks-RTK GPS, dvs. korrektionssignaler tillhandahölls av Swepos, Lantmäteriet. Därigenom erhöles högsta möjliga absoluta noggrannhet i ett känt koordinatsystem. Mätningen gjordes genom att montera mottagaren på en fyrhjulig motorcykel (ATV) och köra till varje punkt som skulle mätas in (figur 10).



**Figur 10. Inmätning av fält och försöksplats för Lindströmsprutan gjordes med nätverks-RTK GPS monterad på en fyrhjulig motorcykel (övre högra hörnet). Den stora bilden visar mätpunkter lagda ovanpå ett ortofoto för att underlätta skapande av fältpolygoner.**

Inmäta punkter öppnades i programvaran ArcGIS 9.2 (ESRI) och fältpolygoner skapades genom att koppla samman fältens hörnpunkter. För att underlätta arbetet användes ett ortofoto från Lantmäteriet som bakgrund (figur 10). Fältpolygonerna sparades i formatet ESRI Shape, som kunde importeras till programvaran Fieldware Office. Skyddszoner skapades och nya gränsfiler för varje fält sparades och överfördes till Legacy 6000.

För att jämföra olika metoder för att mäta in fält och skyddszoner användes ytterligare tre metoder på ett av fälten som mätts in med nätverks-RTK GPS. Den första metoden gick ut på att skapa fältpolygoner utifrån skärmdigitalisering av ortofoto. Enkelt uttryckt gjordes detta genom att öppna ortofotot i ArcGIS och rita fältpolygonerna manuellt genom att titta på skärmen. Vid den andra metoden användes de dokumentationsfiler som erhöles av systemet när lantbrukaren hade sprutat sina fält (sprutning utan att använda sig av automatisk avstängning vid fältgränser). Utifrån dokumentationsfilerna ritades fältpolygon på skärmen. Den tredje metoden gick ut på att föraren vid sprutning av yttervarvet lät Legacy 6000 registrera fältgränsen vid ena rampänden, t.ex. höger rampände vid vänstervarv. Dessa alternativa metoder jämfördes med fältpolygonerna från nätverks-RTK-metoden. Jämförelsen gjordes genom att manuellt välja ut ett flertal platser runt fältets gränser där avståndet mellan

de olika fältgränserna mättes. Riktningen för avståndsmätningen var vinkelrät mot fältgränsen som skapats med nätverks-RTK.

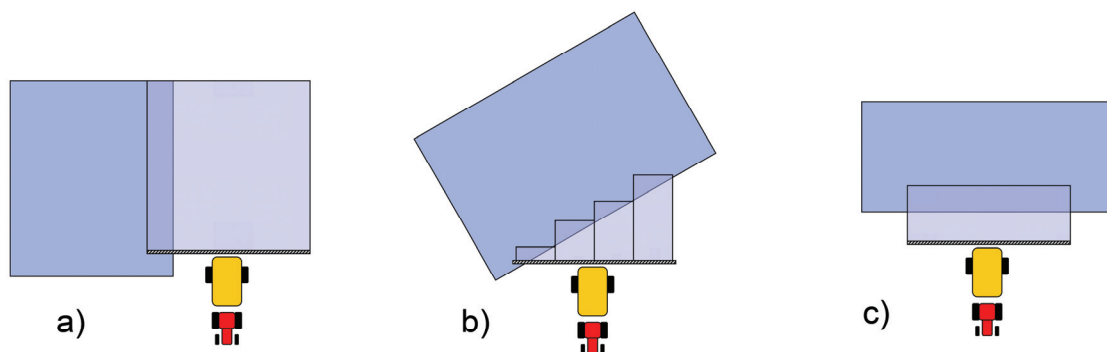
### **Praktisk användning**

Lindströmsprutan med Legacy 6000 har använts i praktisk lantbruksdrift under delar av växtskyddssäsongerna 2006 och 2007. Både försöksvärd och forskare i projektet har använt utrustningen. Erfarenheter har noterats under arbetets gång och redovisas i löpande text.

### **Beräkningar dubbelsprutad yta**

#### **Teoretiska beräkningar**

I projektet har en metod för att beräkna dubbelsprutad yta av ett fält tagits fram. Metoden bygger på att fältets storlek och form beskrivs som polygoner i ett plan. I projektet användes koordinatsystemet RT 90 2,5 gon West, som använder koordinater i enheten meter. Vid beräkningarna används relativt enkla matematiska formler, bl a likformighet och räta linjens ekvation. Antagande om att alla delar av fältet ska behandlas är en förutsättning för beräkningarna. Överlappning delas enligt metoden upp i tre olika delar som beräknas var för sig och summeras för att beräkna totalt dubbelsprutad yta (figur 11). Detaljerna kring metoden för att beräkna dubbelsprutad yta kommer förhoppningsvis redovisas i en vetenskaplig tidskrift och beskrivs därför inte mer ingående i denna rapport (Mickelåker, 2008).



Figur 11. Tre olika anledningar till varför dubbelbesprutning uppstår: a) hela arbetsbredden kan inte utnyttjas eftersom navigeringen är osäker, b) rampen stängs av i sektioner och fälten har icke-vinkelräta hörn, samt c) manövrering av till- och frånslag är osäker.

#### **Dokumentationsfil för beräkning av dubbelsprutad yta**

De dokumentationsfiler som skapas i Legacy 6000 visar var sprutrampen befunnit sig samt vilka delar av rampen som har varit aktiva. En metod för att analysera dessa filer med avseende på överlappning och mistor har utvecklats i projektet. Metoden har utvecklats i ArcGIS (ESRI).

#### **Informationsspridning**

En viktig del i projektet, framför allt när det gäller systemutveckling, har varit att kontinuerligt kommunicera resultat och erfarenheter med tillverkare, återförsäljare och användare. Kommunikation har skett genom deltagande på lantbruksmässor, artiklar i branschtidningar samt genom riktade utskick till återförsäljare och tillverkare.

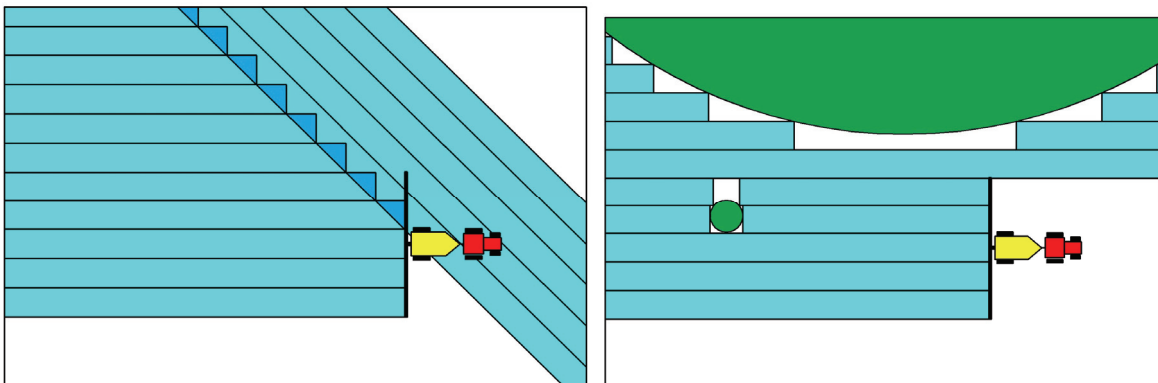
# Resultat

## Funktionskrav

I början av projektet definierades krav på grundläggande funktioner som krävdes för att uppfylla projektets mål:

- Automatisk kontroll av varje rampsektion, eller varje munstycke
- Undvika onödig dubbelsprutning, dvs inte mer överlappning än att mistor undviks (figur 12a).
- Möjlighet att i förväg definiera områden som inte ska behandlas. Dessa områden ska helt undvikas, dvs det är bättre att lämna större yta obehandlad (figur 12b)
- Dokumentera insatsen i fält
- Använda standardiserat dataformat för indata och dokumentationsfiler, samt ha möjlighet att överföra data mellan styrsystemet och andra datorer. Lämplig dataformat kan vara ESRI Shape och dataöverföring kan ske, exempelvis via USB, PCMCIA eller trådlös anslutning.

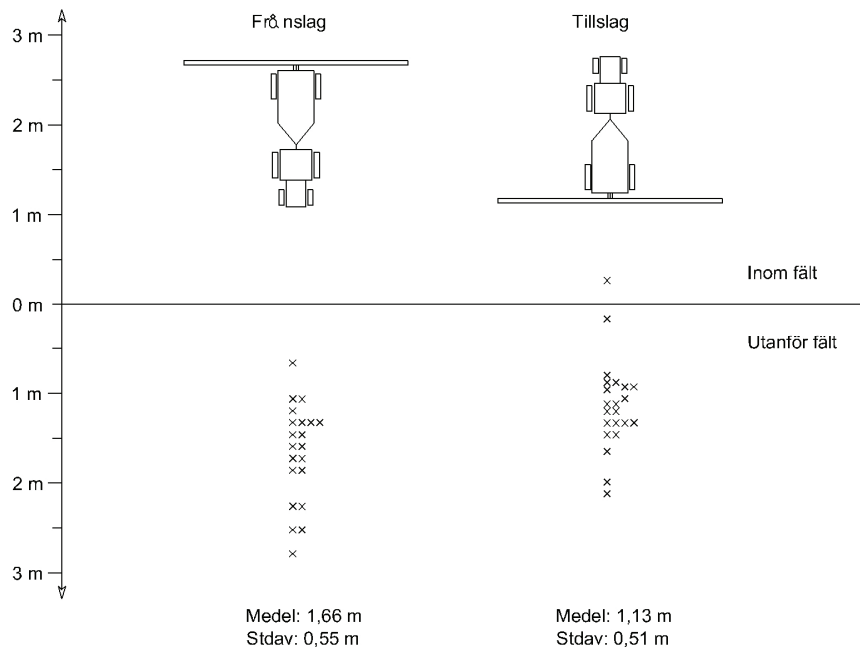
Dessa krav kommunicerades med tillverkarna och användes också som underlag när styrsystemet köptes in till projektet.



Figur 12. Funktionskrav för styrsystemet: Sprutan ska undvika mer dubbelsprutning än vad som krävs för att undvika mistor (t v), samt undvika sprutning av områden som definierats i förväg av användaren.

## Mätningar Lindströms i Lomma

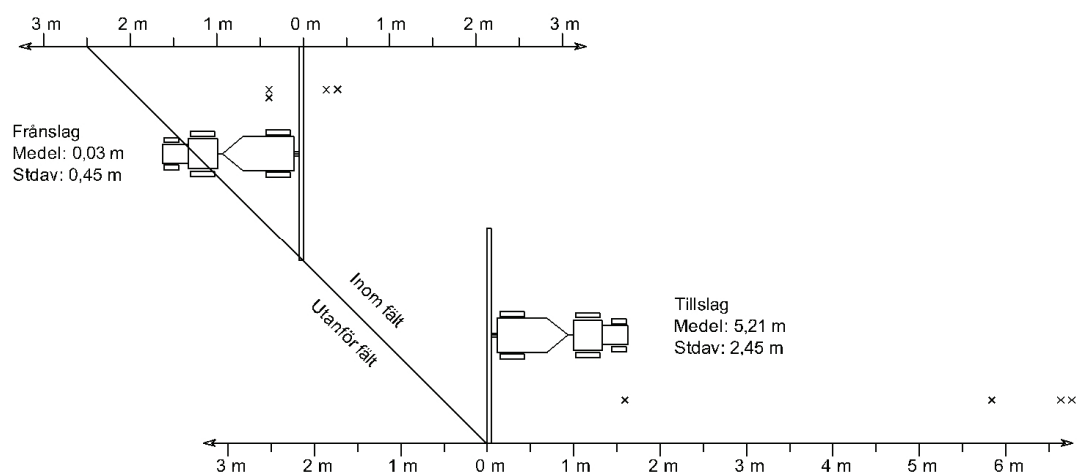
Innan mätningarna vid fältgränser påbörjades mättes tiden från manuell manöver av strömbrytaren, tills rampen aktiverades. För tillslag uppskattades tiden till 0,7 sekunder och för frånslag 1,5 sekunder. Den första situation som utvärderades var passage över en rak gräns, vinkelrät mot körriktningen. Figur 13 visar antal mätningar och spridning mellan mätvärden vid både tillslag och frånslag av sprutrampen, dvs passagen både in på och ut från det virtuella fältet. Totalt gjordes 21 mätningar vid frånslag och 22 mätningar vid tillslag, delat på två olika dagar. Inställning för fördröjning var i denna situation 1,5 sekunder.



**Figur 13. Mätning av styrsystemets funktion vid passage över en rak gräns, vinkelrät mot körriktningen. Observera att symbolen för sprutan inte är skalenlig med skalstrecken för mätvärdena.**

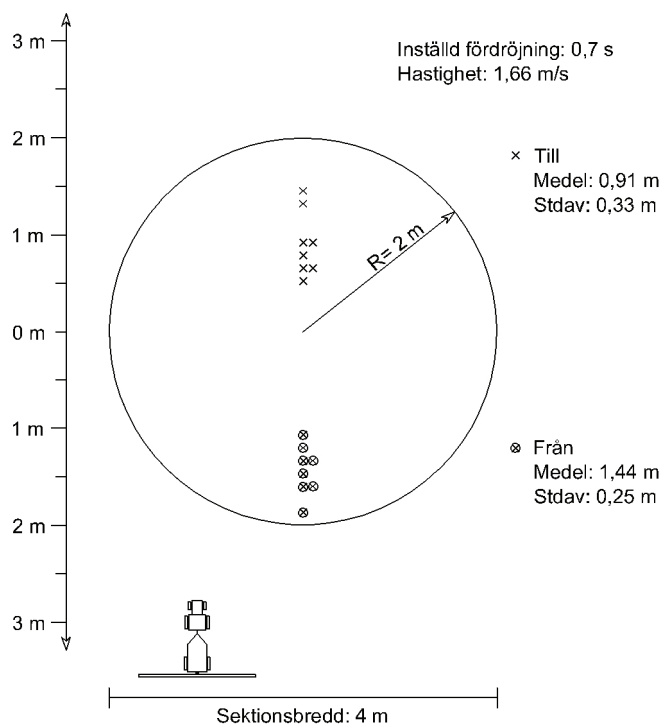
Medelvärde för både från- och tillslag låg utanför fältet, vilket innebar att inställd fördröjning vid frånslag var för kort samt att inställd fördröjning vid tillslag var för lång. Olika fördröjningar för till- och frånslag skulle behöva användas. Felet kan delvis bero på drift i positioneringen.

I den första situationen behövde man inte ta någon hänsyn till rampsektionernas indelning och bredd, eller vilken inställning för överlappning som systemet var konfigurerat med, eftersom hela rampen passerade gränsen samtidigt. Vid mätning då gränsen passerades i 45° vinkel hade detta däremot betydelse. Inställningen 0 % överlappning användes och endast en av sprutans fyrameters sektioner var aktiverad vid mätningarna. Endast fyra mätningar i respektive riktning gjordes vid den sneda gränsen. Figur 14 visar mätvärden och spridning mellan mätvärden vid vinklad passage över fältgränsen. Även i denna situation användes fördröjningen 1,5 sekunder.



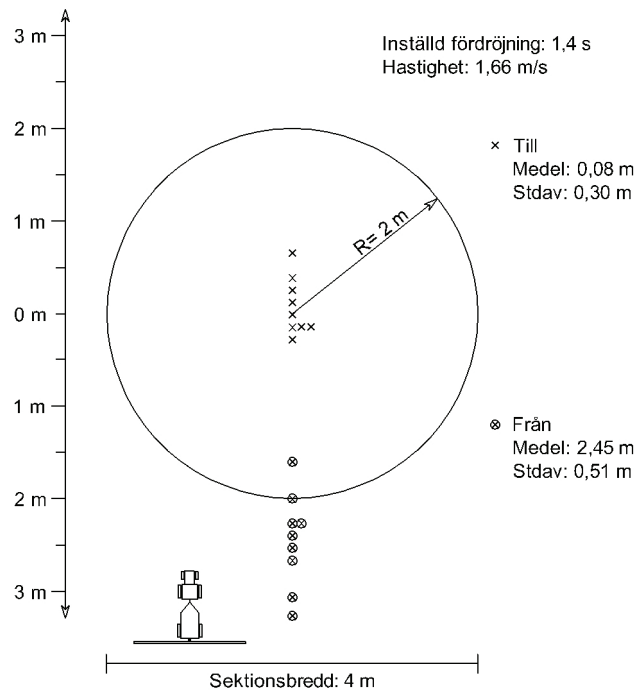
**Figur 14. Tillslag och frånslag vid 45° körriktning i förhållande till fältgränsen. Observera att symbolen för sprutan inte är skalenlig med skalstrecken för mätvärdena.**

En typisk situation där automatisk avstängning skulle kunna vara användbar är vid skyddszoner kring dräneringsbrunnar i fält. Vid den tredje situationen passerade rampen med en fyrameters sektion rakt över ett cirkulärt skyddsområde med radien 2 meter. Figur 15 och figur 16 visar mätvärden för frånslag och tillslag, vid olika inställning av fördröjning. Inställning för överlappning var 0 %.



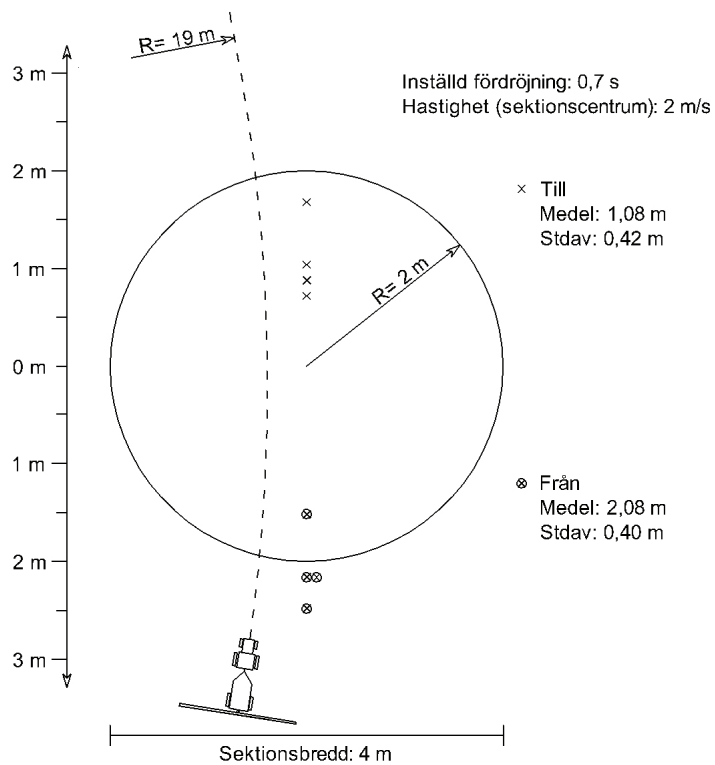
**Figur 15. Mätvärden för avstängning vid skyddszon kring brunn, fördröjning 0,7 sekunder.**





**Figur 16. Mätvärden för avstängning vid skyddszon kring brunn, fördröjning 1,4 sekunder.**

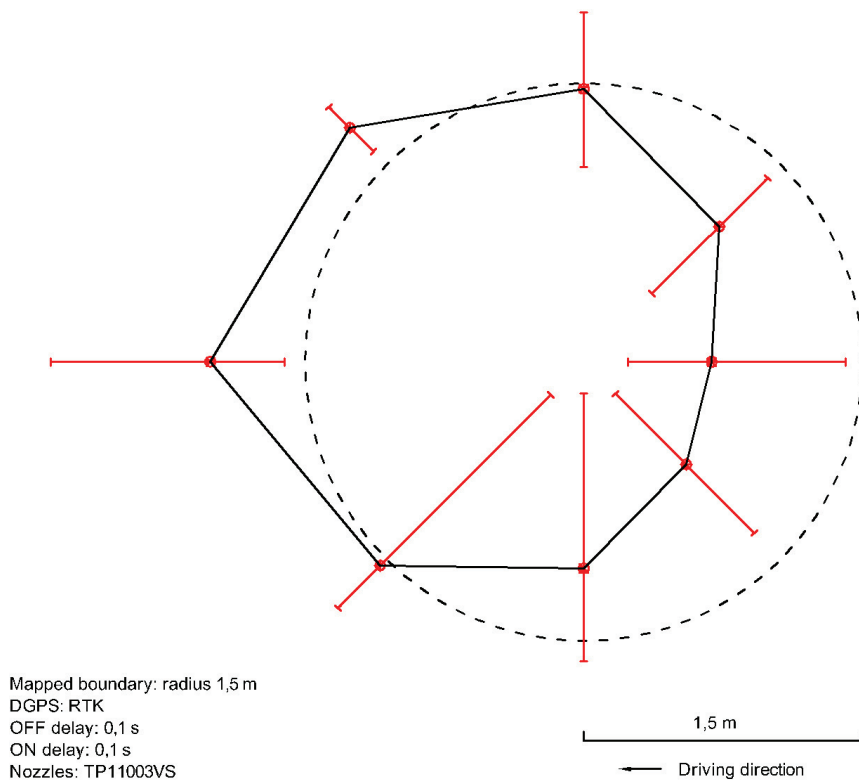
Den fjärde situationen skiljer sig från den tredje genom att sprutan kördes i en sväng. Rampsektionens mitt, som passerade centrum på skyddsområdet, följde en cirkulär bana med radien ca 19 meter. Eftersom traktorn kördes närmare centrum på denna cirkel så blev rampsektionens hastighet högre än traktorns (figur 17).



**Figur 17. Mätvärden för avstängning vid skyddszon kring brunn, passage i sväng.**

## Mätningar RTK Hardi

Resultaten från kontrollmätningarna av Hardi-sprutans funktion blev mer komplicerade att redovisa eftersom den metod som användes tog hänsyn till två dimensioner, dvs. hela markplanet och inte bara körriktningen. Figur 18 visar ett exempel på hur mätningarna har redovisats grafiskt. Motsvarande bild från samtliga maskinkonfigurationer (tabell 1) finns i bilaga 1. Tabell 2 avser att sammanfatta noggrannhet och precision i körriktningen, dvs. motsvarande värden som redovisats från mätningar med Lindström-sprutan.



**Figur 18. Resultat från maskinkonfiguration I med Hardi-sprutan. Röda punkter, som är sammanbundna med heldragen linje, avser medelvärden av samtliga mätningar. Röda staplar avser max- och minvärden.**

**Tabell 2. Resultat från mätning av noggrannhet och precision med Hardi-sprutan. Riktningarna som tagits med i tabellen är de som var parallella med kördraget. Riktning 90° avser frånslag och riktning 270° tillslag. Negativt värde avser värde innanför gräns till skyddszone. Enheten är meter.**

Inställning	Medel riktning 90°	Std.av. riktning 90°	Medel riktning 270°	Std.av. riktning 270°
I	-0,69	0,37	0,51	0,42
II	-0,33	0,33	0,85	0,25
III	-0,19	0,41	-0,31	0,37
IV	-0,97	0,29	0,40	0,36
V	-0,65	0,60	0,42	0,55
VI	-2,00	0,41	1,66	0,27

## Inmätning av fält och skapande av styrfiler

Totalt mättes 59 fält och 408 ha in med RTK GPS (figur 19). Tiden i fält för inmätning var ca 22 timmar, samt ytterligare 20 timmar för bearbetning av data på kontoret. Detta innefattade att skapa fältpolygoner, rita in skydds zoner, samt att skapa styrfiler för Legacy 6000. Med en kostnad på 850 kr per timme för inmätning samt 650 kr per timme för databearbetning innebär det att kostnaden blev 78 kr per hektar.



Figur 19. Samtliga fält som mättes in hos försöksvärden, totalt 59 fält och 408 ha.

Resultat från de tre alternativa metoderna för inmätning av fält redovisas i tabell 3. Med negativa värden menas att den alternativa gränsen är innanför den gräns (mot fältets centrum) som mätts in med RTK GPS. Ortofotot som användes hade en upplösning på 1 x 1 meter. Vid automatisk registrering vid körning av ytteravret skapas gränstill direkt i Legacy 6000. Databearbetning för de andra två metoderna tar uppskattningsvis lika lång tid som metoden med RTK GPS, men kostnader för inmätning i fält kan undvikas.

Tabell 3. Avvikelse mellan inmätning av fält med RTK GPS och tre alternativa metoder. Negativa värden avser att den alternativa gränsen är innanför den gräns som mätts in med RTK GPS.

Metod	Skärmdigitalisering ortofoto	Manuellt från dokumentationsfil	Automatiskt vid ytteravret
Antal mätvärden	22	41	41
Medel (m)	-0,57	0,08	-0,59
Standardavv. (m)	1,19	1,33	0,89

## Hantera dokumentationsfiler

Legacy 6000 använder flera olika filer för att hantera olika funktioner. Innan arbete med utrustningen kan börja så måste ett nytt jobb (fält) skapas. Inställningarna för fältet hamnar i en separat inställningsfil (**.stp**). Om man vill använda sig av variabel dosering så är det fil-tillägget **.arm** som definierar detta. Linjer eller punkter för guidning och autostyrning lagras i

**.glm**, där också start och stopp för jobbet registreras. Gränsfiler har ändelsen **.bnd**. När arbetet påbörjas så skapas två dokumentationsfiler, båda med ändelsen **.rcd**. Den ena visar hela arbetsbredden oavsett hur många sektioner som är aktiva, dvs filen visar var körspåren anlades. Den andra visar vilka rampsektioner som varit aktiva. Till fältet skapas också en säkerhetsfil, **.bak**.

Under projektets sista säsong ändrades programvaran till Legacy 6000 så att det också blev möjligt att använda ESRI Shapefiler direkt i styrdatorn. Likaså blev det möjligt att spara dokumentationsfilerna i samma format, vilket underlättar utbyte med andra GIS-program. Men det ökar också antalet filer att hantera. Alla filerna som hör till ett jobb (fält) sparas i en mapp.

Om man vill återkomma till ett fält för att exempelvis påbörja en andra behandling, så kan man antingen välja ett nytt fält, eller använda inställningar, guidelinjer och fältgränser från ett tidigare fält genom att kopiera inställningsfil, guidelinjefil och gränsfil till en ny mapp.

Om nya fält hela tiden skapas så kan det vara lämpligt att använda det förinställda namnet på nya jobb. Namnet blir då datum samt ett nummer, som indikerar vilket fält i ordningen som skapats under dagen. Vill lantbrukaren använda fördefinierade gränser och inställningar så krävs det att man bygger upp en mappstruktur och ett namngivningssystem som gör det enkelt att hitta bland mappar och filer.

## ***Praktisk användning***

Legacy 6000 har använts av försöksvärden Tureholms Maskinstation AB under delar av säsongerna 2006 och 2007. Drygt 2000 hektar har sprutats med automatisk avstängning av rampen. Nedan följer en beskrivning av erfarenheter av systemet som har erhållits vid användningen.

Automatisk avstängning av sprutrampen innebär mer omfattande konfigurering av systemet vid installation, jämfört med traditionella kontrollsystem. Förutom sprutans funktioner så behöver fordonets geometri m.m. ställas in. Inställningarna är relativt enkla att förstå och behöver bara göras vid ett tillfälle. Om man flyttar datorn mellan olika fordon, eller byter redskap, så kan inställningar sparas för att åter hämtas upp.

I dagsläget har inte fler enheter av Legacy 6000 sålts i Sverige. Låga försäljningssiffror har inneburit att lokal support har hållits på en begränsad nivå. Språket som används i instruktionsböcker och i mjukvara är engelska, vilket ökade svårigheten för försöksvärden att lära sig systemet.

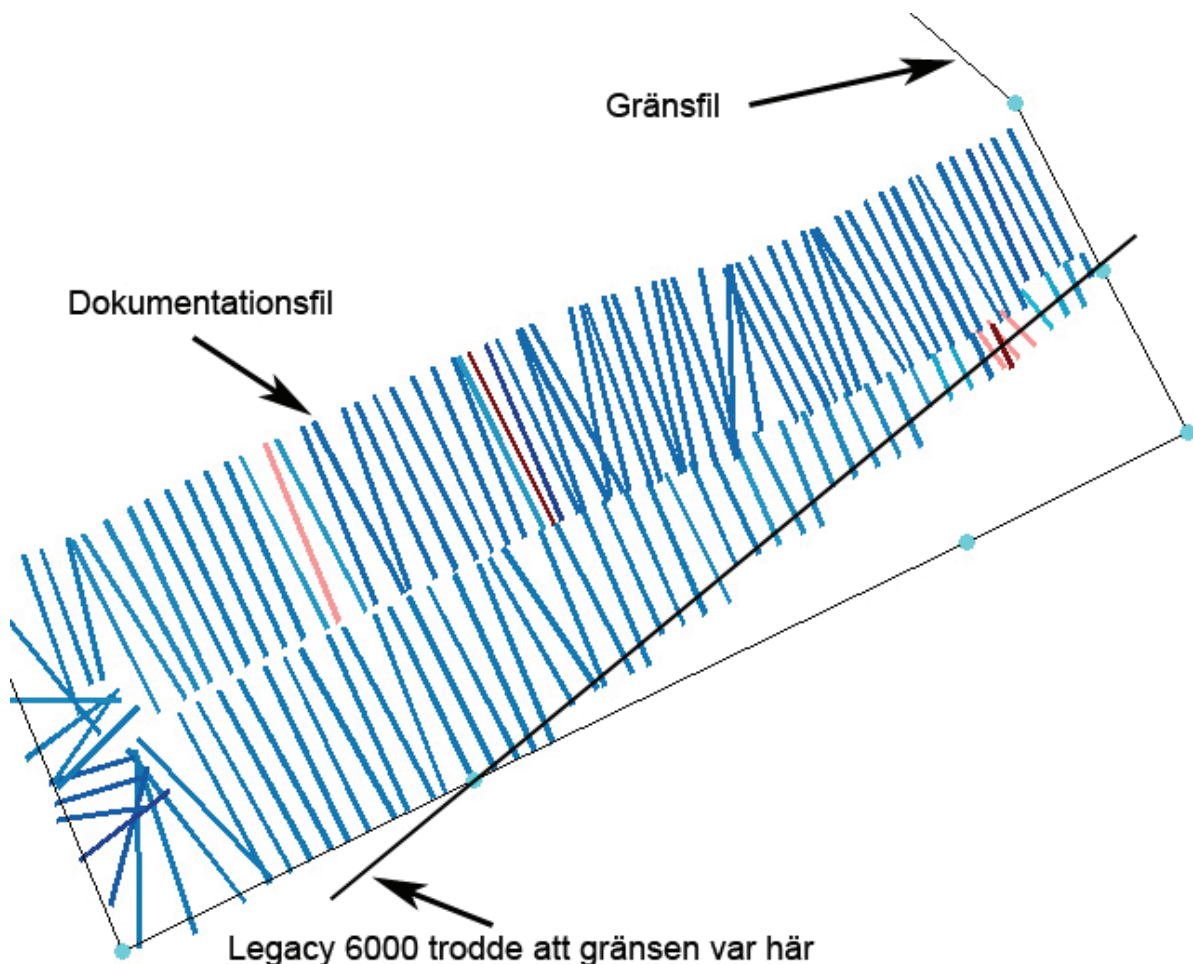
Legacy 6000 är ett flexibelt system med många användningsområden, vilket också innebär att det finns många menysteg och inställningsmöjligheter. Med en traditionell styrdator kan arbetet med sprutning starta direkt när föraren har fyllt vatten och preparat i sprutan. Med automatisk avstängning så måste föraren definiera vad systemet ska användas till samt vilket fält (jobb) som ska behandlas. Även om det inte innebär så många menysteg så var detta ett moment som innebar ett större hinder än väntat. Den färgskärm som finns på Legacy 6000 innebär att bilder och hjälptext kan hjälpa föraren att minnas hur olika funktioner fungerar, något som inte alls varit lika tydligt på traditionella styrsystem. För den datorvana föraren så räcker det i princip att lära sig grunderna i hur systemet funkar, och sedan kan man läsa sig fram till hur det fungerar, utan att plocka fram instruktionsboken. Detta kan vara till god hjälp när man återigen sätter sig bakom ratten efter en längre tids uppehåll.

Försöksvärden upplevde att systemet var bättre på att undvika dubbelsprutning och mistor, jämfört med när han manövrerade rampen manuellt. Det var dock svårt att se någon mätbar besparing av preparat, mer än att den sprutade arealen som redovisades i styrdatorn var

mindre än den brukade vara. Vid några tillfällen möjliggjorde automatisk avstängning att arbetet kunde fortsätta även efter mörkrets inbrott, vilket innebar att arbetet kunde slutföras samma dag. Arbetet med att fylla på skumpreparat reducerades, även om försöksvärden under projektet oftast använde skummarkörerna parallellt, för att kunna kontrollera om den automatiska avstängningen fungerade som den skulle.

Vid enstaka tillfällen har GPS-mottagaren förlorat kontakt med erforderligt antal satelliter eller med korrektionssignalen. Systemet varnar då föraren och det går att köra systemet i manuellt läge även utan positionering. Naturligtvis erhålls då inte automatisk avstängning av rampen. Om doseringen styrs med hjälp av hastighetssignal via GPS så måste även dosregleringen ske manuellt vid avsaknad av GPS-position. Problem med positioneringen har främst uppstått i direkt närhet till hus eller träd och signalen har återkommit så snart man får fri sikt mot satelliterna igen.

Vid två tillfällen då fördefinierade gränsvärden användes uppstod problem vid sprutning i närheten av ett hörn av fältet. Felet berodde troligen på ett mjukvarufel i Legacy 6000, alternativt i Fieldware Office. Systemet betedde sig som om det reducerade antalet noder i gränspolygonen (se figur 20). I fält gick problemet att lösa genom att övergå till manuellt läge. Problemet löstes för denna specifika gränsvärden genom att skapa en ny. Detta fel var en av orsakerna till att försöksvärden sällan använde fördefinierade gränsvärden.

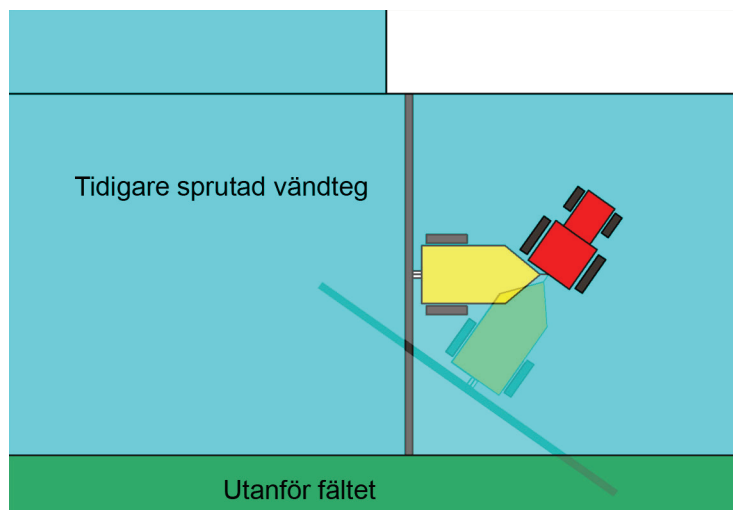


**Figur 20. Dokumentationfil och gränsvärden från Legacy 6000 som visar att systemet inte har sprutat det högra-nedre hörnet av fältet. Problemet berodde antagligen på något programfel antingen i Legacy 6000 eller i Fieldware Office.**

Utskriftsfunktionen i Fieldware har inte fungerat tillfredställande, då rapportgeneratoren inte placerat text på rätt plats samt att stora delar av utskriften blivit täckt av svarta områden. Problemet orsakades troligen av mjukvarufel.

Sprutning med Legacy 6000 kan ske utan att någon gränstil finns till fältet. Ett problem som uppstod var då att yttersta rampsektionen slogs på när sprutan svängdes runt på vändtegen. Riskerna fanns då att sprutvätska spreds utanför spridningsområdet, eller att fältets ytterkant blev sprutad två gånger. Problemet uppstod även om sprutrampen inte passerade över fältgränsen. Detta beror troligtvis på två saker:

- Legacy 6000 beräknar kommande position av sprutrampen för att kunna ta hänsyn till fördröjningar i regelsystem för väsketryck, ventiler etc. Den kommande positionen beräknas utifrån hastigheten och nuvarande riktning, men datorn har ingen möjlighet att förutsäga om föraren svänger eller inte. Därför tror sprutdatorn att rampen snart kommer att passera utanför vändtegen och sätter då på rampen.
- Fordonets ledpunkt för bogserade sprutor finns inte definierad i Legacy 6000, som då inte heller kan ta hänsyn till att fordonet svänger. Datorn tror alltså att sprutrampen är utanför fältet (dvs utanför sprutat område på vändtegen), medan den i verkligheten håller sig inom fältet (figur 21).



Figur 21. Fordonets ledpunkt är inte definierad i Legacy 6000, som därmed inte kan beräkna sprutrampens korrekta position när fordonet svänger.

### ***Teoretiska beräkningar***

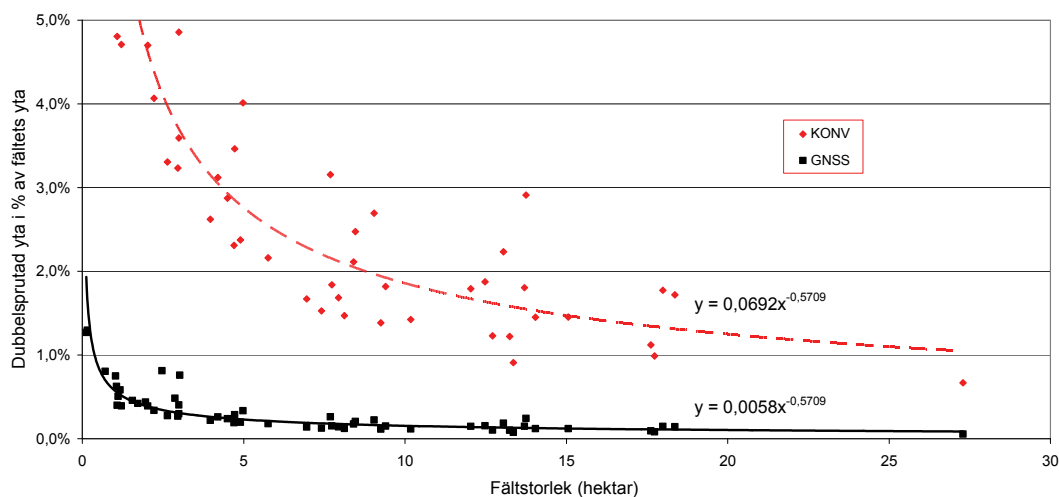
Försöksvärdens fält, som mättes in med RTK GPS (figur 19), användes som underlag för de teoretiska beräkningarna av dubbelsprutad yta. Två olika maskinkonfigurationer jämfördes (tabell 4). De båda fiktiva sprutorna hade en arbetsbredd på 24 meter, men den precisionsstyrda sprutan hade individuell munstycksavstängning och automatisk styrning av traktor och spruta via GNSS, istället för fyra delsektioner och manuell styrning som på den konventionella (KONV).

**Tabell 4. Dubbelsprutad yta ( $A_D$ ) enligt indelning i figur 11. Exemplet avser jämförelse mellan två hypotetiska maskinkonfigurationer, på de fält som mättes in hos försöksvärden i projektet. Beräkning enligt Mickelåker (2008)**

	KONV	GNSS
Rampbredd	24 m	24 m
Effektiv arbetsbredd	23 m	23,8 m
Antal sektioner	4	48
Sektionsbredd	6 m	0,5 m
Fördröjning vid vändteg	2,5 m	1 m
$A_{Da}$	17,36 ha	3,43 ha
$A_{Db}$	8,58 ha	0,72 ha
$A_{Dc}$	6,63 ha	2,65 ha
Total $A_D$	32,57 ha	6,80 ha
- % of totala fältytan	8,0 %	1,7 %
- % mängd produkt av totalt använd mängd	7,4 %	1,6 %

Skillnad i dubbelsprutad yta mellan den konventionella sprutan (KONV) och precisionssprutan (GNSS) var 25,77 hektar. Om man antar att den genomsnittliga preparatkostnaden är 500 kr/ha, så innebär detta en årlig minskning av den totala preparatkostnaden på 12 885 kr. Detta bör då vägas mot kostnader för mer avancerad utrustning.

För att förenkla beräkningarna av dubbelsprutad andel enligt situation b och c (figur 11), har en modell anpassats till resultatet av beräkning på de enskilda fälten i ovanstående dataunderlag. Figur 22 visar modellen, anpassad på de två olika maskinkonfigurationer som beskrivs i tabell 4. Observera att andelen dubbelsprutning enligt figur 11a inte ingår i modellen, eftersom detta inte påverkas av fältstorleken.



**Figur 22. Andel överlappning är indirekt beroende av fältstorleken, vilket gör att beräkningen kan förenklas med hjälp av modellen som har anpassats till de beräknade värdena för varje enskilt fält.**

Utifrån ovanstående beräkningsmetod och dataunderlag så har två olika beräkningsmallar skapats. Båda finns tillgängliga på hemsidan för Precisionssodling Sverige (POS, [www](http://www.pos.se)), och exempel från mallarna finns i bilaga 2. Den första mallen hjälper användaren att beräkna kostnaden för dubbelbesprutning med olika sprutkonfigurationer (dvs överlappning enligt b och c i figur 11). Den andra mallen hjälper användaren att beräkna hur guidningssystem och

autostyrning kan öka maskinkapaciteten och minska dubbelapplicering av exempelvis bekämpningsmedel, och därmed sänka de rörliga kostnaderna.

Liknande beräkningar har under projekttiden presenterats av några amerikanska forskare. Batte & Ehsani (2006) redovisade jämförelser mellan en konventionell och en precisionsstörd spruta. Deras arbete fokuserade på de ekonomiska aspekterna, där relativt grova antaganden om överlappning har gjorts. För den konventionella sprutan antog de att förarens överlappning till nästföljande drag var 7,5 % av arbetsbredden, samt att delsektioner inte användes utan hela arbetsbredden slogs till och från vid vändtegen. För precisionssprutan antogs överlappningen vara 5 cm, oavsett arbetsbredd, samt att det inte blev någon dubbelsprutning vid vändtegen och kilar. Olika hypotetiska fältformer användes vid beräkningarna, samtliga med storleken 40,47 ha (100 acres). Två år tidigare hade en av forskarna presenterat en undersökning om hur mycket överlappning som olika förare gör om skummarkörer används. Förare 1 överlappade i genomsnitt 4,9 % av arbetsbredden och förare 2 överlappade 2,6 %. Man konstaterade att det varierade mycket mellan olika förare (Ehsani m.fl., 2004).

Dillon m.fl. (2007) koncentrerade arbetet på de ekonomiska beräkningarna. Även denna forskargrupp använde tre exempelfält som underlag för beräkningarna. För dessa tre fält redovisas minskad preparatåtgång på mellan 16,37 – 26,29 % med en spruta som har individuell munstycks kontroll, jämfört med en konventionell spruta.

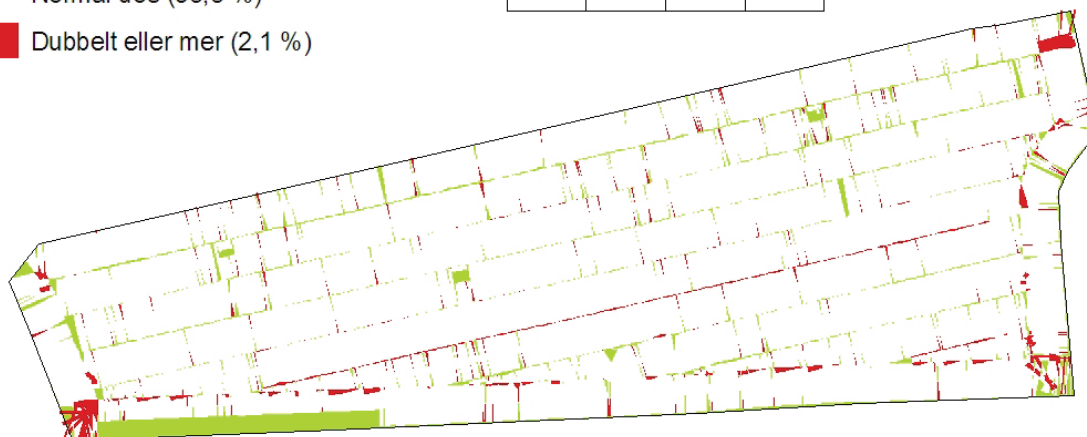
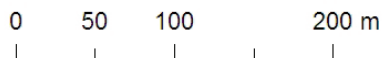
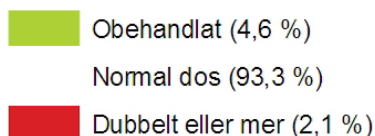
### ***Beräkning av dubbelsprutad yta från dokumentationsfil***

De specifika funktioner som har använts i programvaran ArcGIS redovisas inte här, utan endast principen för metoden. Polygonerna i dokumentationsfilen delades på varje ställe där två polygoner överlappade varandra. Därefter summerades antalet lager, och överlappande polygoner gjordes om till en polygon, där polygonens attribut angav det ursprungliga antalet lager. Utöver detta fanns också uppgift om utsprutad dosering, som också summerades för alla polygoner på samma yta. Den obehandlade ytan inom fältet beräknades genom att subtrahera fältpolygonen (inmätt med RTK GPS) från den behandlade ytan enligt dokumentationsfilen. De olika stegen i metoden gjordes manuellt och var relativt tidskrävande. Endast ett skifte analyserades med metoden (figur 23). Ovanstående teoretiska beräkningsmetod gav 1,4 % dubbelsprutad yta (överlappning enligt b och c i figur 11) för samma skifte. Metoden över-skattar till viss del mistor och överlappning, eftersom polygonerna ”delar” sig när vätskemängden eller den aktiva arbetsbredden ändras. Om då rampens riktning ändras något precis i skarven så ger detta upphov till både mista och överlapp, vilket inte var fallet i verkligheten. Om dokumentationsfilen skulle kunna hålla ihop polygonerna under hela tiden som en rampdel var aktiverad så skulle beräkningsmetoden ge mer rättvisande resultat.



## Dubbelt och obehandlat (andel av fält)

### Skifte 7A, Tureholm



Figur 23. Obehandlad och dubbelsprutad yta på ett skifte hos försöksvärden. Den långsmala, obehandlade ytan i sydvästra hörnet är en skyddszon intill grannens betfält.

## Implementering på marknaden

Under projektets första år visades projektets idé på Borgeby Fältdagar (2005). I samband med mässan togs kontakt med återförsäljaren för Spraying Systems, som då hade ett lämpligt system i USA. Året därefter fanns Lindströmssprutan med Legacy 6000 på plats på Borgeby Fältdagar 2006. Detta år var det ingen leverantör som marknadsförde något system för automatisk avstängning på mässan. På Borgeby Fältdagar 2008 visades RTK Hardi-sprutan och dess funktion, tillsammans med en utställning av leverantörer av system för automatisk avstängning på den svenska marknaden. I montern visades:

- Hardi Auto Section Control, en funktion som kan erhållas som tillbehör på nya sprutor med styrdatorn Hardi Controller 6500. Systemet är framtaget i samarbete med Rinex.
- Teejet Centerline Boom Pilot. Förutom Legacy 6000, har Teejet tagit fram ett system som är enklare uppbyggt, och därmed billigare. Boom Pilot är avsedd för att kopplas in parallellt med sprutans befintliga styrdatorn. Kablage anpassas för att passa sprutor av olika fabrikat.
- John Deere Sprayer Pro. Extra funktion i systemet Green Star 2.
- Trimble EZ-boom 2010, används tillsammans med guidnings- och autostyrprodukter från Trimble. Kan användas som styrdatorn till sprutan eller kopplas in parallellt med den befintliga.
- Amazone GPS Switch används tillsammans med Amatron+, som är styrdatorn till flera olika redskap från Amazone.
- Rinex AS7500, som visades på mässan av spruttillverkaren Scan-Agro, kopplas in parallellt med sprutans befintliga sprutdatorn.

Det framkom inte från leverantörerna hur många system som har sålts i Sverige, men utbudet på marknaden tyder på att intresset har ökat för denna typ av produkter. Tyvärr var det inte samtliga produkter på mässan som hade möjlighet att ta hänsyn till fältgränser och skydds-zoner, utan var avsedda att användas i huvudsak för att minimera dubbelsprutning.

Den 13 januari 2008 publicerades ett pressmeddelande på hemsidan till The Mitchell Farm, Iowa, USA. Enligt meddelandet hade ett samarbete startat mellan Kee Technologies, Navcom och Capstan Ag. De tre aktörerna hade utvecklat en prototyp för automatisk avstängning av individuella spridare längs sprutrampen på en självgående spruta.

## Diskussion

### ***Mätningar Lindströms i Lomma***

Relativt enkla och billiga verktyg användes för att utföra kontrollmätningar med Lindströms-sprutan. Den variation som erhöles med sprutan var betydligt högre än mätmetodens uppskattade upplösning i körriktningen, vilket innebar att metoden var tillräckligt noggrann. Om man i framtiden vill studera utrustning med högre precision krävs också bättre metoder med högre upplösning. Den använda metoden utvecklades i samband med att mätningarna genomfördes, vilket var orsaken till att inte alla inställningar och situationer upprepades lika många gånger.

Det är i första hand variationen mellan mätningarna som är intressant, eftersom fördröjning och i viss mån även parametrar om fordonets geometri kan användas för att justera in medelavståndet till gränsen. Eftersom fördröjningen för till- och frånslag inte var lika, så var det viktigt för systemets funktion att Legacy 6000 under kommande säsonger kunde konfigureras med olika fördröjning för till- och frånslag.

Samtliga mätningar visade ungefär samma spridning mellan mätvärdena, med undantag för tillslag vid sned gräns. Vad detta undantag berodde på är oklart. Möjligen skulle närheten till fältets ytterkant kunna påverka, men avståndet var i storleksordningen 10 m vilket borde var tillräckligt. Med undantag för tillslag vid sned gräns så var standardavvikelsen i genomsnitt 0,41 m. Med två gånger värdet för standardavvikelsen så täcker man in drygt 95 % av tillfällena, om mätningarna följer en normalfördelning. Detta skulle innebära att noggrannheten blir ca +/- 1 m vid användning i praktiken.

Vid sprutning av drag som ansluter till en tidigare sprutad yta så eftersträvas oftast att all yta behandlas, dvs hellre dubbelsprutning än mistor. När sprutan passerar gränsen till en skyddszon är önskemålet dock tvärtom, dvs hellre lämna mer obesprutat än att spruta på skyddszonen. I Legacy 6000 kan överlappningsgrad väljas, men inte olika för dessa olika situationer. Vid kontrollmätning vid brunn användes inställningen 0 %, men beroende på Legacy 6000 sätt att definiera vad som menas med 0 % så erhöles inte riktigt den önskade funktionen. Med 0 % så stänger Legacy 6000 av rampen när ena änden av rampen är inne på yta som ska behandlas. Därför sprutades en större yta av skyddszonen runt den fiktiva brunnen än vad som var önskat. Problemet blir större med bredare rampsektioner och mindre skyddszoner. Ett sätt att minska problemet är att lägga till extra säkerhetsmarginal vid fastställande av lämplig storlek på skyddszonerna.

Avstängning vid brunn mättes med två olika inställningar för fördröjning. Resultaten från de båda situationerna stämde väl överens. Skillnaden i fördröjning var 0,7 sekunder och hastigheten 1,66 m/s, vilket skulle innebära att medelavståndet borde ha flyttat sig 1,16 m bakåt i körriktningen. Skillnaden vid från- och tillslag var 1,01 m resp. 0,83 m.

### ***Mätningar RTK Hardi***

Vid mätning av noggrannheten med RTK Hardi var gränsen mellan osprutat och sprutat ibland något diffus, speciellt i sidled med avseende på körriktningen. Sprutans spaltspridare gav ingen skarp gräns utan istället avtagande vätskemängd längre ifrån spridaren, från full dos under munstycket till noll ca 0,5 m sidan om munstycket.

Metoden gav en bild av spridningen i två dimensioner, vilket innebar att det fanns många olika alternativ för hur man redovisar mätningarna. Den metod som valdes har för avsikt att ge läsaren en bild över hur den verkliga obesprutade zonen såg ut i förhållande till den önskade, samtidigt som mått på variationen redovisades. Tabell 2 ger resultat som gör det enklare att jämföra olika inställningar med varandra, samt att jämföra mätningar för Lindströmssprutan med mätningar för RTK Hardisprutan.

Enligt resultatet så flyttades medelavståndet för både till- och frånslag, när frånslagsfördröjningen ändrades. Vad detta berodde på är inte klarlagt. Eventuell skillnad mellan olika duschkvalitet var för liten för att identifieras med metoden. Medelvärde för standardavvikelsen för samtliga mätningar med RTK GPS var 0,35 m, jämfört med 0,58 m för Sjöfartsverkets korrektionssignal (Beacon), vilket visar att mottagarens noggrannhet påverkade resultatet. I praktiken innebär skillnaden i variation med RTK GPS, jämfört med de andra mottagarna, hur mycket av variationen som kan hänföras åt styrsystemet och sprutan, och hur mycket som beror på positioneringen (jämför värden i tabell 2). Utifrån resultatet kan man också konstatera att GPS med EGNOS-korrektion gav fel information om skyddszonens placering. I figur 29 ser man att det verkliga obesprutade området är förskjutet i korriktionen. Från samma figur kan man också konstatera att metoden för att analysera och redovisa spridningsbilden inte passar när hela området förskjuts på grund av drift i positioneringen.

### ***Inmätning av fält***

Inmätning av fält med RTK GPS, skapande av kartor och styrfiler i ArcGIS och Fieldware fungerade bra. Kostnad och tidsåtgång kan tyckas hög, men man bör beakta att metoden utvecklades samtidigt som arbetet utfördes i projektet. Med mer rutin kan arbetet med all sannolikhet utföras mer effektivt. Om inmätning i fält dessutom samordnas med annan inmätning, exempelvis täckdikningsplanering eller markkartering, kan kostnaderna sänkas ytterligare. Inmätningen i fält är inte heller något som behöver göras varje år, utan kostnaden kan fördelas på flera års användande. Data från inmätningen kan också komma till nytta vid andra tillfällen, t.ex. växtodlingsplanering, ansökan om EU-stöd, underhåll av dikessystem etc.

Av de övriga metoderna så är registrering av gräns vid sprutning av yttervarv ett lämpligt alternativ. Det kan dock vara svårt att med denna metod få med mindre skyddszoner inne i fältet, som exempelvis runt brunnar, eftersom man inte kör runt dessa utan istället passerar över. Skyddszonerna kan i och för sig markeras digitalt i Legacy 6000, för att senare lägga till skyddszonerna i Fieldware. En nackdel med att mäta in gräns vid första körningen är att man då inte har tillgång till gränserna vid första spruttillfället, samt att det blir ett extra moment för föraren att hålla reda på.

GPS-mottagarens noggrannhet bör beaktas när fältgränser ska mätas in, eftersom man annars bygger in fel i styrfilerna. Vid senare användning så adderas sedan ytterligare fel, vilket med samma GPS-mottagare ger dubbel osäkerhet. Genom att en gång för alla mäta in gränsen med hög noggrannhet så kan precisionsnivån sedan bestämmas vid användande av gränsen.

### ***Praktisk användning***

Legacy 6000 är annorlunda att använda jämfört med traditionella kontrollboxar för lantbruksprutor. Istället för att det finns en knapp, eller knappkombination, för varje funktion, så är hela systemet uppbyggt i Windows CE med menyer, hjälptexter och knappar som växlar funktion beroende på vad som står på skärmen. Logiskt för den datorvane användaren, men svårt för försöksvärden som var van vid sprutans tidigare kontrollbox. Istället för att starta

traktorn och börja spruta så måste föraren varje gång vänta på att Legacy 6000 startar upp samt välja vilket jobb/fält som ska användas, antingen ett befintligt eller ett nytt.

Filhantering, både i Legacy 6000 och i kontorets PC blir snabbt rörig med alla filer som skapas. Till försöksvärdens 59 fält (exkl. alla fält som sprutades hos andra kunder) skapades en mapp med flera filer för varje behandling. Här behövs något system som är enklare att administrera för användaren. Automatisk överföring av filer till en databas som är gemensam för både fordonsdatorn och kontoret hade reducerat den manuella hanteringen. Likaså borde det i framtiden vara möjligt för fordonsdatorn att själv föreslå lämplig styrfil utifrån den geografiska position där man befinner sig.

Mer avancerade styrsystem ställer högre krav på support från leverantören av utrustningen. Förutom kunskap om och support för hårdvara med avancerad nätverksteknik så behövs utbildning av förare kring mjukvara både i fordonsenhet och på kontor. En ny användare behöver också hjälp att lägga upp karthantering, filnamngivning etc på ett smart sätt. Detta innebär också att framtida kunder måste inse att service och support kommer att ta en större del av kostnaden för utrustningen i anspråk, samt att leverantörens supportnivå blir en viktig konkurrensparameter.

Styrsystemets förutsägbara variation vid till- och frånslag kan hanteras genom att lägga till extra skyddsavstånd till skyddszoner och extra marginal vid anslutning till vändtegen för att undvika mistor. Extra marginaler minskar dock nyttan och ekonomisk vinst med systemet. Till viss del går det att öka säkerhetsmarginalen genom att justera inställd fördröjning i styrsystemet.

Tillfälliga extrema avvikelser måste elimineras. Ett styrsystem som inte går att lita på går inte att använda i praktiken. Ur miljöperspektiv är säker funktion den viktigaste egenskapen för ett tillfredsställande system.

Felet som beskrivs i figur 21 kan innebära uppenbara risker för miljön. I första hand ökar risken för dubbelsprutning, men även risk för spridning utanför fältet. Eftersom rampen ofta höjs vid vändning ökar också risken för vindavdrift. Risken för att felet ska uppkomma kan minskas genom att:

- Använda gränstil vid sprutning
- Systemet beaktar det ledade fordonets geometri vid sväng med bogserad spruta på ett korrekt sätt
- Öka vändtegens bredd, t.ex. genom att köra två varv runt fältet.
- Föraren stänger av sprutningen manuellt vid vändtegen, men då missar man en del av poängen med automatisk avstängning.

### ***Beräkningar av dubbelsprutad yta***

Beräkningar av den dubbelsprutade ytan som erhålls med olika styrsystem visade att investering i tekniken kan vara ekonomiskt lönsam. De beräkningsmallar som finns tillgängliga på POS hemsida gör det enkelt för den enskilde lantbrukaren att själv göra en bedömning av investeringens lönsamhet. Svårigheten med beräkningarna är i första hand att bedöma noggrannhet för det manuella systemet. Olika förare manövrerar sprutan på olika sätt och med olika säkerhetsmarginal, medan automatiskt styrda system är enklare att förutsäga. Dessutom dokumenterar det automatiska systemet hur det har sprutat fältet, vilket gör det enklare att i efterhand bedöma de parametrar som behövs för beräkningarna.

Minskade kostnader erhålls genom att dubbelsprutad yta reduceras. Denna funktion uppnås genom att automatisk rampavstängning aktiveras, dvs inga styrfiler behövs för denna funktion. Kostnader för inmätning av fält bör därför i första hand ses som en kostnad för att få tillgång till ökad kontroll, dokumentation och miljöskydd.

De miljövinster som automatisk avstängning innebär är i första hand att risken för misstag och slarv minskar, att dokumentationen förbättras, samt att preparatmängden reduceras.

Styrsystemet gör det möjligt att fortsätta arbetet även under sämre siktförhållanden, t.ex. under dygnets mörka timmar. Det är svårt att göra en generell bedömning av vad detta är värt. Om detta innebär att en bekämpning kan utföras i rätt tid utan att vind eller regn för med sig bekämpningsmedel från fältet, så kan denna egenskap snabbt göra utrustningen både miljömässigt och ekonomiskt lönsam.

### ***Implementering och framtidsutsikter***

Under projekttiden har marknaden för automatisk avstängning ökat. Både kundernas och leverantörernas intresse har ökat. Men tillverkare och leverantörer har också varit avvaktande. Ett skäl kan vara att man ville skaffa sig erfarenhet av användningen innan det marknadsfördes. Det har också framkommit att det fanns en osäkerhet om hur eventuella juridiska komplikationer skulle hanteras om kemiska bekämpningsmedel sprids på felaktigt sätt av ett automatiskt system.

Systemen som finns på marknaden är olika med avseende på vilka funktioner som kan utnyttjas. Alla kan inte hantera gränsvärden eller dokumentera utfört arbete. Maximala antalet sektioner är också en parameter som påverkar nyttan som kan förväntas av systemet.

Framtida utsikter för automatisk avstängning innebär antagligen att precision och noggrannhet höjs. Ökad datorkraft och förbättrade positioneringssystem kan möjliggöra detta. Enligt meddelandet från The Mitchell Farm så tycks idén med individuell munstycksavstängning ha intresserat marknads aktörer.

Dokumentationen som automatiskt erhålls från systemen kan utgöra viktig information för exempelvis myndighetskontroll och driftledning inom företaget, men då krävs standardiserade och automatiska system för informationshantering och analys av data.

### **Slutsats**

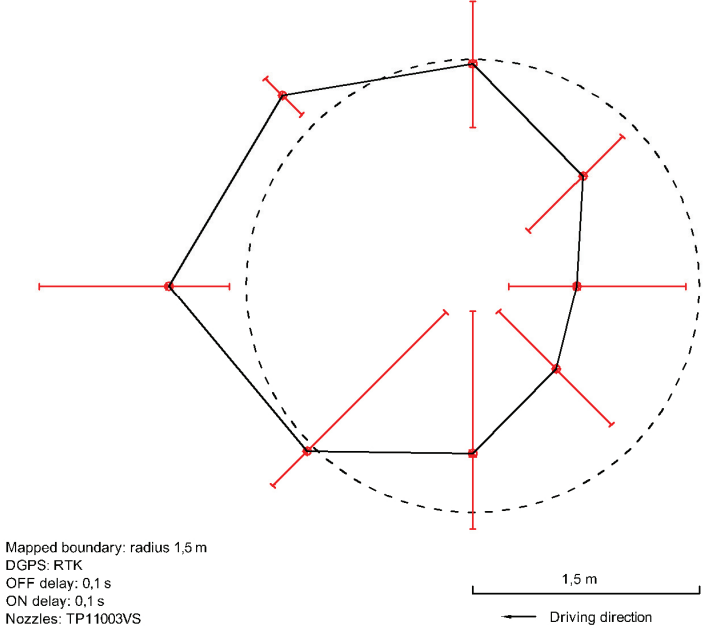
Även om metoderna i projektet har ändrats en del under projekttiden, så har projektets mål uppfyllts. Systemen som har utvecklats och validerats kan användas för att skapa ett ökat skydd av exempelvis skyddszoner runt dräneringsbrunnar, men det krävs olika stora säkerhetsmarginaler beroende på hur noggrann utrustning som används.

Många av fördelarna med ett automatiskt styrsystem till sprutan kan uppfyllas utan att det nödvändigtvis behöver innebära avstängning av individuella spridare. Men egentligen innebär datorkontroll, kommunikation via CAN och ventiler till varje spridare att det inte finns någon anledning att dela in rampen i onödigt breda sektioner som minskar den ekonomiska nyttan av systemet.

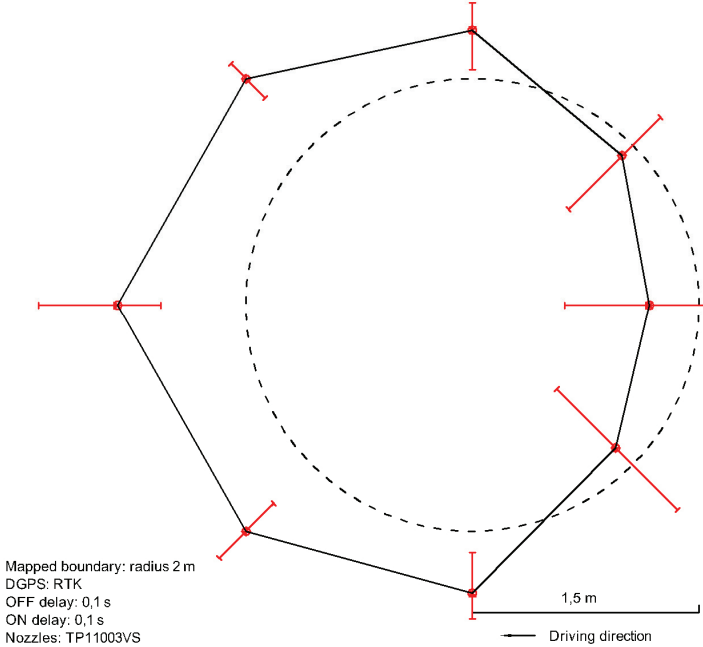
## Referenser

- Agritechnica. 2003. Press release: Drift-Optimization-System on ISOBUS (ISO 11783) "Metos AOS". [http://harvestmonitor.com/downloads/Metos\\_AOS-ENG.pdf](http://harvestmonitor.com/downloads/Metos_AOS-ENG.pdf)
- Batte, M.T. & Ehsani, M.R. 2006. The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture* 53, sid. 28–44
- Dillon, C.R., Shearer, S., Fulton, J. & Pitla, S. 2007. Improved profitability via enhanced resolution of variable rate application management in grain crop production. In: *Precision Agriculture '07*, Artikel presenterad vid 6<sup>th</sup> European Conference in Precision Agriculture, 3-6 Juni, Skiathos, Grekland, sid. 819-825
- Ehsani, M.R., Sullivan, M.D. & Zimmerman, T. 2004. Field evaluation of the percentage of overlap for crop protection inputs with a foam marker system using real-time kinematic (RTK) GPS. Institute of Navigation (ION) 60th Annual Meeting, Dayton, Ohio, sid. 366-369
- Engfeldt, A. & Jivall, L. 2003. Så fungerar GNSS – Ett samarbetsprojekt mellan Banverket, Lantmäteriet och Vägverket. Rapport 2003:10. Lantmäteriet, Gävle
- Lilje, C., Engfeldt, A. & Jivall, L. 2007. Introduktion till GNSS. LMV-rapport 2007:11. Rapportserie Geodesi och Geografiska informationssystem. Lantmäteriet, Gävle
- Meron, M., van de Zande, J., van Zuydam, R., Heijne, B., Shragai, M., Liberman, J., Hetzroni, A., Andersen, P.G. & Shimborsky, E. 2003. Tree shape and foliage volume guided precision orchard sprayer – the PRECISPRAY FP5 project. Papers for the 4<sup>th</sup> ECPA, 15-19 June 2003, Berlin, sid. 411-416. Wageningen Academic Publishers, Nederländerna
- Mickelåker, J. 2008. Calculation of sprayer overlap for general field shapes. *Precision Agriculture*, Springer (insänd oktober 2008)
- Miljöbalken. 1998. Svensk författningssamling nr 1998:808. Stockholm: Miljödepartementet
- Mitchell Farm, 2008. Individual Nozzle Control. Hemsida med text och video, uppdaterad den 13 januari 2008. <http://www.mitchellfarm.com/?p=57>
- Naturvårdsverket. 1997. Spridning av kemiska bekämpningsmedel – Tillämpning av Naturvårdsverkets föreskrifter om spridning av kemiska bekämpningsmedel. Allmänna råd 97:3. Stockholm: Naturvårdsverket
- Nilsson, J. 2004. Användning av en kombination av GPS och individuellt avstängningsbara spridare för att garantera skyddsavstånd. Rapport till Stiftelsen Lantbruksforskning. Inst. för Landskaps- och trädgårdsteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp (opublicerad).
- NUI. 2002. Omnibusundersökningen Sveriges Lantbruk, hösten 2002. Åkersberga: Näringslivets undersökningsinstitut.
- POS. Precisionsodling Sverige, hemsida. 2008-11-18. <http://www.agrovast.se/precision>
- SNFS 1997:2. Statens naturvårdsverks föreskrifter om spridning av kemiska bekämpningsmedel. Stockholm: Statens naturvårdsverk
- Swepos hemsida. 2009-01-19. <http://swepos.lmv.lm.se/>
- Torstensson, L. 2001. Halm skyddar dikesbrunnar vid bladmögelbekämpning. SLU Fakta/Jordbruk nr 16:2001. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet
- Trimbles hemsida. 2009-01-19. <http://www.trimble.com/>

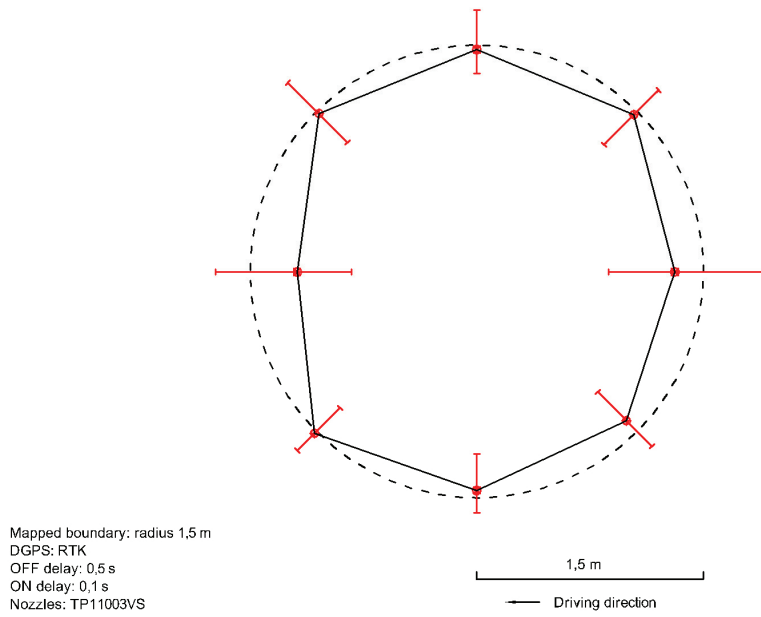
# Bilaga 1: Resultat från kontrollmätning med RTK Hardi



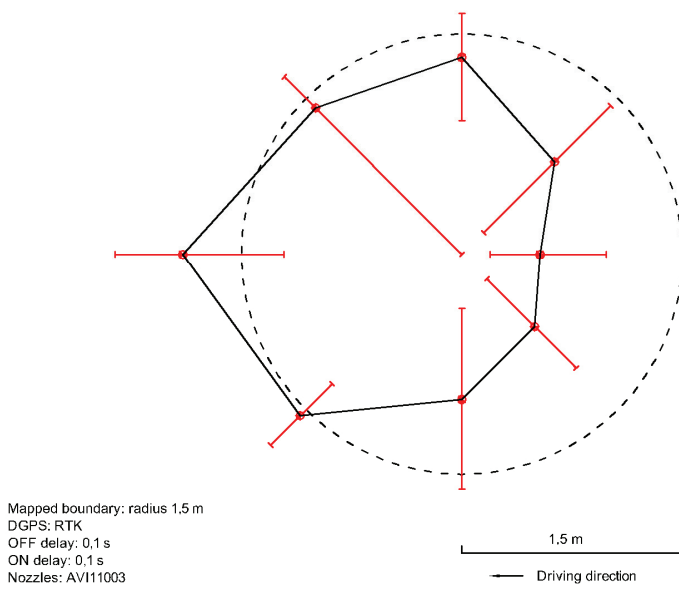
Figur 24. Maskinkonfiguration I.



Figur 25. Maskinkonfiguration II.

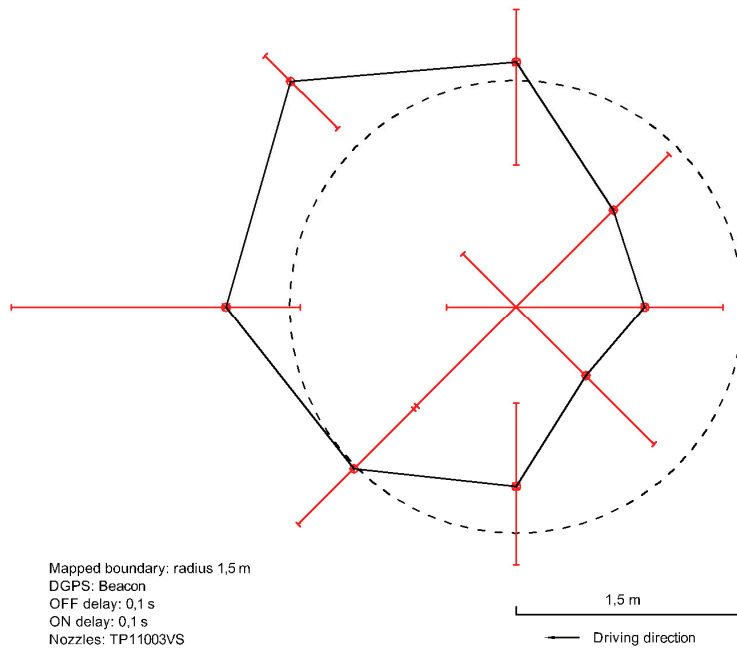


**Figur 26. Maskinkonfiguration III.**

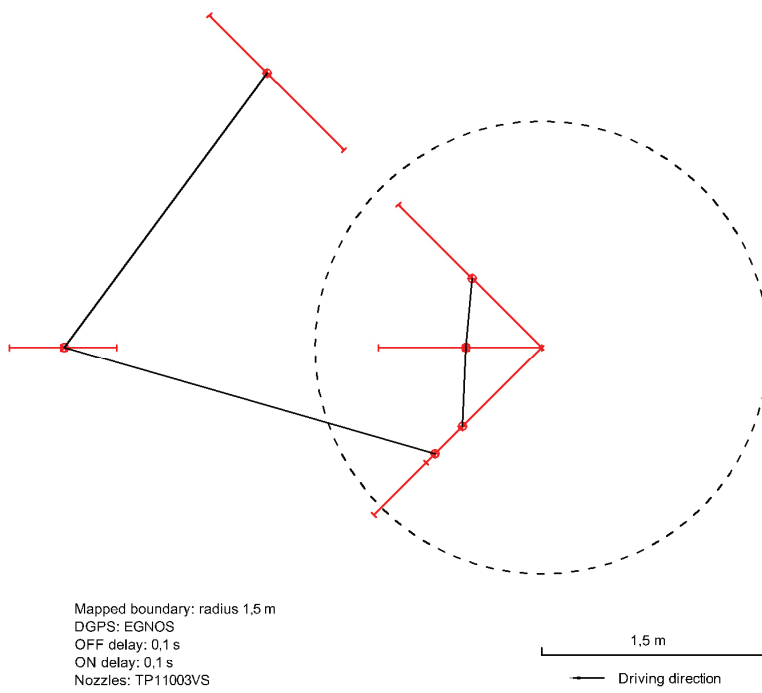


**Figur 27. Maskinkonfiguration IV.**





**Figur 28. Maskinkonfiguration V.**



**Figur 29. Maskinkonfiguration VI.**

## Bilaga 2: Exempel från kalkyler på POS-hemsida

### Introduktion till POS kalkyl för automatisk avstängning

Minska kostnaderna med  
**Automatisk avstängning**  
av sprutan eller spridaren

Kalkylen är skapad av Johan Nilsson, SLU, januari 2007  
med finansiering av Partnerskap Alnarp och Stiftelsen  
Lantbruksforskning, SLF.



#### Så fungerar det

Med hjälp av digitala kartor och GPS-mottagare finns det reglerutrustning som automatisk kan slå av och på spruttrampens enskilda sektioner eller munstycken.

Detta innebär:

- \* Avstängning vid brunnar och andra skyddszoner kan göras automatiskt
- \* Mindre dubbelsprutad yta eftersom avstängning kan göras med högre precision
- \* Enklare att hålla koll på vilka områden som sprutats, speciellt vid sämre siktförhållanden
- \* Sprutan kan byggas ut med fler delsektioner

Mindre dubbelsprutad yta erhålls eftersom

- 1) kortare delsektioner ger mindre överlappning vid kilformade fält
- 2) avstängning vid vändtegr kan göras med högre säkerhet och därmed mindre överlappning

Beräkningarna bygger på att hela fältet ska behandlas, dvs inga mistor får lämnas.



Utrustningens kostnad beror på traktorns och redskapets befintliga utrustning. I dagsläget finns utrustning från ca 17 000 kr.

Ofta kan styrsystem för automatisk avstängning användas till många fler funktioner, som t ex guidning, autostyrning, variabel dosering, dokumentation m.m., vilket gör att investeringskostnaden kan fördelas på fler användningsområden.

#### Till kalkylen

Beräkna hur du kan minska kostnaderna med automatisk avstängning.

För mer information, kontakta PrecisionsOdling Sverige, POS, som kan hänvisa vidare till forskare och återförsäljare.

Figur 30. Introduktion till kalkyl för automatisk avstängning på POS hemsida.

### Fyll i aktuella uppgifter och beräkna minskade kostnader med automatisk avstängning

Areal	<input type="text" value="150"/> ha
Typisk fältstorlek	<input type="text" value="10"/> ha
<b>Nuvarande system</b>	
Bredd delsektion alt. arbetsbredd	<input type="text" value="4"/> m
Kostnad för insatsmedel	<input type="text" value="700"/> kr/ha
Fördröjning vid manuellt till- och frånslag vid vändtegr	<input type="text" value="4"/> m
Dubbelsprutad yta	3,6%
<b>Automatisk avstängning</b>	
Bredd delsektion	<input type="text" value="1"/> m
Fördröjning vid automatiskt till- och frånslag vid vändtegr	<input type="text" value="1"/> m
Dubbelsprutad yta	0,9%
Minskad kostnad insatsmedel	18 kr/ha
<b>Minskad kostnad totalt</b>	<b>2743 kr</b>

Figur 31. Kalkyl för automatisk avstängning från POS hemsida.

## Minska kostnaderna med Guidningssystem eller Automatisk styrning

GPS-baserade guidningssystem ger föraren anvisningar för att styra rätt i nästa kördrag. Med automatisk styrning är navigationssystemet kopplat till fordonets styrsystem, som därmed kontrolleras automatiskt.

Kalkylen hjälper dig att beräkna minskade kostnader som kan erhållas om GPS-baserade styrhjälpmedel kan öka fältmaskinernas kapacitet, men tar inte hänsyn till:

\*minskade fasta kostnader genom att kapacitetsökning gör att maskinen kan användas på fler hektar per år.

\*minskade läglighetskostnader genom kapacitetsökning som gör att fältåtgärder kan utföras vid lämpligare tidpunkt än tidigare

\*minskade kostnader om nuvarande guidningssystem, exempelvis körspår anlagda vid sådd eller skummarkör, inte behöver användas.

\*kostnader för guidnings-/autostyrningssystemet. Flera olika fabrikat och modeller finns på marknaden. De flesta kan utrustas med GPS-mottagare med olika pris och noggrannhet. Många utrustningar ger användaren fler funktioner och mer nytta än bara guidning/autostyrning. Allt detta bör tas med i kalkylen för att ge en rättvisande beräkning.

**Till kalkylen** Här kan du beräkna hur du kan minska kostnaderna med guidningssystem och automatisk styrning.

För mer information, kontakta PrecisionsOdling Sverige, POS, som kan hänvisa vidare till forskare och återförsäljare.



*Kalkylen är skapad av Johan Nilsson, SLU, november 2007*

*Partnerskap Alnarp och Stiftelsen Lantbruksforskning har finansierat arbetet för att ta fram denna kalkyl*

**Figur 32. Introduktion till kalkyl för guidningssystem och automatisk styrning på POS hemsida.**

Beräkning av underhållskostnad	
Återanskaffningsvärde (nypris)	200 000 kr
Underhållsfaktor enligt nedan	0,60 kr/tim o 1000 Å
<b>Underhållskostnad per timme</b>	<b>120 kr/tim</b>
Maskingrupp	Underhållsfaktor (kr/tim och 1 000 kr återanskaffningsvärde)
Traktorer	0.07 – 0.12
Tröskor, 2.4 – 3.6 m	0,25 – 0.30
Jordbearbetning	0.50 – 0.90
Såmaskiner	0.50
Konstgödselspridare	0.60 – 1.50
Lantbruksspruta	0.60 – 1.50
Slätterkrossar	0.70 – 0.80
Rotorhövändige/-strängläggare/luf	1.50
<i>Källa: Aqrwise, Databok för driftsplanering 2007</i>	
Exempel på arbetsteknisk verkningsgrad	
vid olika fältarbeten	
Fältarbete	Arbetsteknisk verkningsgrad (%)
Plöjning	75 – 85
Harvning	80 – 90
Konstgödselspridning	45 – 55
Kombisådd	60 – 70
Sprutning	55 – 65
Slätterkrossning	75 – 85
Tröskning	65 – 75
<i>Källa: Witney, B. 1995. Choosing &amp; Using Farm Machines, Land Technology Ltd</i>	

**Figur 33. Kalkylhjälp för att bedöma underhåll och arbetsteknisk verkningsgrad från POS hemsida.**

## Beräkna minskade kostnader med guidningssystem eller automatisk styrning

### Kapacitet

Redskapets benämning	Spruta	Harv				
Redskapets arbetsbredd	24	9				
Körhastighet	8	7				
Arbets teknisk verkningsgrad	55%	85%				
Areal	400	400				
Överlapp manuell styrning	1	1				
Överlapp med guidning/autostyr	0,2	0,2				
Kapacitet manuell styrning	10,1	4,8				
Kapacitet med guidning/autostyr	10,5	5,2				

### Kostnader

Kostnad insatsmedel	500	0				
Lönkostnad	200	200				
Bränsleförbrukning	15	25				
Bränslepris	8,5	8,5				
Bränslekostnad	128	213				
Underhåll	300	200				
Summa rörliga maskinkostnader	651	646				
Minskade kostnader per hektar	19	12				
Totalt minskade kostnader för maskinen	7532	4935				

**Summa minskade kostnader med guidning/autostyr 12467 kr**

Figur 34. Kalkyl för guidningssystem och automatisk styrning från POS hemsida.