



Ogrässkanning med nya digitala metoder

Lägesrapport våren 2024

Karl Lingham

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för vatten och miljö
Växtodlingsprogrammet
Uppsala 2024



Ogrässkanning med nya digitala metoder

Lägesrapport våren 2024

Weed detection using new digital methods. Status report spring of 2024

Karl Lingham

Handledare: Theo Verwijst, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtproduktionsekologi

Bitr. handledare: Anneli Lundkvist, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtproduktionsekologi

Bitr. handledare: Jonas Schön, Rådgivningsenheten växtskydd, Jordbruksverket, Landskrona

Examinator: Libère Nkurunziza, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtproduktionsekologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Biologi, G2E

Kurskod: EX0894

Program/utbildning: Växtodlingsprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för vatten och miljö

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2024

Nyckelord: Herbicider, identifikation, ogräs, punktbesprutning, sensorer

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för växtproduktionsekologi

Sammanfattning

Denna litteraturstudie gick ut på att kartlägga olika sensorer som kan användas för punktbesprutning. Sensorerna som valdes var de som finns, vill finnas eller är möjliga att köpa på den svenska marknaden inom en snar framtid. Utöver kartläggningen faktakollas företagens vanliga påståenden för att se hur de stämmer mot forskning. Även forskning som jämförde systemen analyserades. Åtta sensorer hittades där två av dem använde klorofyllsensor och kunde därav inte användas i växande gröda. De andra sex kunde användas i växande gröda varav fyra av sensorerna är en kamera som sitter på traktorn eller på sprutbommen. De två sista sensorerna skannade först marken för att sedan skapa en styrfil som kan användas vid besprutningen.

Ett vanligt påstående av företagen var att de kunde minska herbicidanvändningen upp till mellan 70 och 90%. I flera försök med punktbesprutning över en säsong var denna närmre 50%. Detta hade även företagen som testade besparingarna över en längre tid kommit fram till. Relevansen för användningen av punktbesprutning ansågs vara mycket stor på grund av de ekonomiska och ekologiska fördelarna som blir av att sensorerna används. Den minskade ogräskontrollen vägdes upp av de två föregående fördelarna.

Ett annat vanligt påstående av företagen var att den minskade mängden herbicider som användes kunde öka skörden på grund av att grödan inte skadades. Detta stämmer under vissa förhållanden men hur mycket som herbiciderna påverkar grödan beror på många olika faktorer.

Forskningen som fanns kring de produkter som finns på marknaden visade att stora och små ogräs var de som var svårast för sensorerna att detektera och detektera rätt. Avdrift, träffsäkerhet och sprutlängd var alla viktiga faktorer som spelade in på hur väl sensorerna fungerade. Framtida forskning borde fokusera på att testa produkterna i olika ljus, deras träffsäkerhet, sprutlängd, detektionsförmåga och identifikationsförmåga.

Slutligen händer det väldigt mycket för dessa system., de blir bättre och bättre ju mer de används och det sker många och snabba förändringar.

Nyckelord: Herbicider, identifikation, ogräs, punktbesprutning, sensorer

Abstract

The purpose of this literature review was to map the sensors existing or wanting to enter the Swedish market in spot spraying technologies. Apart from mapping the companies, their usual statements were checked as well as the already existing research comparing the sensors. Eight sensors were found where two only had the ability to spray in fallow or postharvest due to the sensors identifying chlorophyll and therefore are unable to distinguish between crop and weed. The other six sensors were able to distinguish between crop and weed and four of the sensors were attached to either the spray boom or the tractor. The two remaining first scanned the entire field before making a map to spray after.

A usual statement from the companies were that the use of their products could lower the herbicide usage upwards of 70 to 90%. In several experiments over a longer period of time the average herbicide reduction was found to be around 50%. The relevance of using spot spraying was also found to be great due to the economic and ecological benefits due to the reduction in herbicide usage. The negative impact of lessened weed control was found to be outweighed by the two benefits.

Another usual statement the companies made were that the yield would increase due to the crop not being damaged by the herbicides. This was found to be true but to which degree was hard to determine. This is due to the many factors that play a role when an herbicide and a crop come in contact.

The existing research comparing the existing sensors found that the difficulties lie in detecting small and large weeds. The small due to not being detected and the large to not being detected to the size that they were. Drift, accuracy and spraying length were all found to be important in how well the system managed. Future research should focus on testing the sensors in different light, their accuracy, spraying length, detection rate and identification ability.

Lastly this is a very evolving industry where the sensors are getting better and a lot is happening around them.

Keywords: Herbicides, identification, sensors, spot spraying, weeds

Innehållsförteckning

1. Introduktion	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte och avgränsningar	8
1.3 Metod	9
2. Resultat	10
2.1 Sensorer med ljus	11
2.1.1 Trimble WeedSeeker 2	11
2.1.2 WEED-IT Quattro.....	12
2.2 Sensor med kamera som besprutar direkt.....	13
2.2.1 DAT EcoPatch	13
2.2.2 Bilberry – A Trimble Company.....	14
2.2.3 PerPlant	14
2.2.4 Carbon Bee SmartStiker X	15
2.3 Sensorer med kamera som skapar en styrfil	15
2.3.1 Cultiwise.....	15
2.3.2 RoboWeedMaps	16
2.4 Ökad skörd med hjälp av sensorer	16
2.5 Oberoende försök på sensorerna	17
2.5.1 Herbicidreducering med hjälp av sensorer	17
2.5.2 Sensorer mot varandra	17
3. Diskussion	19
3.1 Sensorernas användning	19
3.2 De vanliga påståendena	21
3.3 Ogräskontroll.....	22
3.4 Framtiden	22
4. Sammanfattning	23
Tack	24
Referenser.....	25

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Okontrollerat ger ogräs stora skördeförluster eftersom de konkurrerar med grödan om ljus, utrymme, näring och vatten. Denna konkurrens har lett till att ogräsen bekämpas för att minska dessa effekter, men bekämpningen har i vissa fall lett till att miljön runtom påverkas negativt. Ett sätt som ogräsen bekämpas på är genom herbicider som kemiskt dödar ogräsen och där herbiciden antingen kan appliceras för bekämpning av alla växter eller för mer selekterade ogräs (Cobb 2022). I fall där herbicider har läckt ut i miljön runtomkring och hamnat i jorden eller vattnet har det visats flera gånger på de negativa effekter detta har haft. Det är speciellt herbiciderna som har ett brett spektrum av växter den är riktad mot som ger stora negativa effekter på miljön. Det är inte bara växterna som påverkas av herbiciderna utan även insekter, fåglar, fiskar och djur påverkas indirekt eftersom miljön de lever i förändras. Även människor kan påverkas av dessa herbicider men det är svårt att veta till vilken grad eftersom symptomen ofta kommer av lång exponering till herbiciden (Ustuner et al. 2020).

År 2022 såldes 1598 ton verksamma ämnen mot ogräs inom jordbrukssektorn i Sverige vilket står för över 81% av den viktmässiga mängden bekämpningsmedel som används inom jordbruket (Kemikalieinspektionen 2023). Mängden sålt verksamt ämne mot ogräs är högre än för genomsnittet de fem åren från 2018 och antalet hektardoser, såld mängd mot rekommenderad dos per hektar, har även ökat sedan 1981. En förklaring som SCB ger för ökningen de senaste åren är att mängden odlat höstvetete har ökat vilket har lett till ett behov av fler behandlingar (Statistiska Centralbyrån 2023).

Ett annat problem som har uppstått på grund av användningen av herbicider är att ogräsen börjar bli resistent. På grund av det selekterande tryck som herbicider sätter på ogräsen har de evolverat till att överleva denna selektion och därav överleva herbiciderna (Gaines et al. 2020). Det hittas fler och fler ogräsarter som är resistent mot olika herbicider och det är speciellt på platser med liten rotation av grödor som resistensen uppstår. Vissa länder i EU har nästan helt förlorat all kontroll av renkavle, *Alopecurus myosuroides*, med hjälp av ACCase inhibitorer

och vissa ACCase inhibitorer har förlorat sin effekt i Skåne. Även resistens mot ALS ökar. (Peterson et al. 2018; Jordbruksverket 2024a).

ACCase inhibitorer fungerar genom att blockera växten från att underhålla cellväggar vilket gör att cellerna börjar läcka och slutligen dö. Den kan göra detta på olika sorters gräs där herbiciden tas upp av löven men som sedan transporteras till floemet där celldöden sker. Detta påverkar först och främst tillväxt av nya delar på växten. Resistensen som ogräsen utvecklar är framförallt genom mutationer som gör att cellen fortfarande kan underhålla cellväggarna (Takano et al. 2020). ALS inhibitorer fungerar genom att de påverkar ALS enzymet i olika växter vilket leder till en kedjereaktion som slutar med celldöd. Mutation av ALS enzymet har dock lett till att herbiciden slutat fungera och ogräsen har blivit resistent (Tranel & Wright 2002). Ett sätt att minska en ökning av herbicidresistens är genom att minska på användningen av herbicider som har samma verkningsmekanismer. (Norsworthy et al. 2012).

Av de grödor som odlas i Sverige är det mest i spannmål som det sker en ogräsbesprutning. 78% av vikten av all mängd herbicider som användes var under 2021 använt i stråsäd. Av den totala jordbruksarealen stod spannmål år 2021 för nästan 40% men detta inkluderar ekologiskt, 18,4% av total åkermark 2021, och vall (Statistiska Centralbyrån 2022; Jordbruksverket 2024b). De ogräs som är vanligast i höstsådda spannmål är bland annat lomme, *Capsella bursa-pastoris*, baldersbrå, *Tripleurospermum perforatum*, och blåklint, *Cyanus segetum*, samt renkavle, *A. myosuroides*, är ett växande problem (Milberg & Hallgren 2004; Berglund 2019). I vårsådda spannmål är det bland annat trampört, *Polygonum spp.*, och då, *Galeopsis spp.*, som är stora problem (Milberg & Hallgren 2004). Med en ökande trend i att odla höstsådda spannmål och en minskande trend i att odla vårsådda spannmål kommer mängden herbicider som används att öka eftersom fler behandlingar görs i höst än vårsådda spannmål men även att andelen behandlad areal är större i höstspannmål (Statistiska Centralbyrån 2022; Jordbruksverket 2024b).

Utöver spannmål är det sockerbetor som sticker ut i mängden applicerade herbicider i odlad gröda (Statistiska Centralbyrån 2022). Eftersom sockerbetor kräver stora radavstånd jämfört med exempelvis höstvet (Boström et al. 2012; Soleymani & Shahrajabian 2017) och det är en konkurrenssvag gröda kräver sockerbetorna stora insatser med herbicider. Även majs och potatis med stora radavstånd kräver mycket herbicider.

Den mest använda herbiciden är dock inte primärt använt i växande gröda utan är applicerad på bar mark. Nästan 54% av vikten av herbiciderna som användes 2021 bestod av glyfosat och precis under 68% av den totala volymen glyfosat användes på bar mark. De andra användningsområdena är vallbrott och avdödning av oljeväxter. (Statistiska Centralbyrån 2022).

När herbicider appliceras spelar stor roll både för lantbrukaren och för effektiviteten av ogräskontroll. Ogräskontroll påverkas av växtens dag och nattcykel och det har visats att den mest effektiva tiden att applicera herbicider är under dagtid, kl 9.00 till 18.00. Detta beror troligtvis på flera olika faktorer som alla spelar samman och tiden som är optimal påverkas av bland annat art, fuktighet och applikationsmängd (Miller et al. 2003). Vinden spelar dock stor roll för lantbrukarna eftersom avdrift påverkar när de kan köra på åkern. Till skillnad från ogräsen är det då optimalast att applicera herbicider på den tidiga morgonen eftersom då är vindarna ofta lugnast (Chkhetiani et al. 2012; Starchenko et al. 2021).

En annan aspekt på ogräskontrollen är konkurrensen mellan grödan och ogräset. Om ett ogräs är etablerat innan grödan kommer konkurrensen vara mycket högre än när grödan har etablerats innan ogräset. Påverkan ogräset har på grödan spelar också stor roll då ogräset kommer starkt att hämma tillväxten av grödan om de får konkurrera med varandra (Lundkvist & Verwijst 2011)

Ett sätt som skulle kunna påverka problemen som uppstår av herbicidanvändning är genom att använda punktbesprutning. Detta är att marken skannas efter ogräs som sedan blir besprutade av herbicider. Om ett ogräs inte detekteras kommer det inte att ske någon besprutning vilket gör att ingen bar mark besprutas. Det är då även tänkt att ogräskontrollen inte ska minska (WEED-IT 2024a).

1.2 Syfte och avgränsningar

Syftet med denna rapport är att kartlägga sensorer som kan användas för punktbesprutning som finns, vill finnas eller är möjliga att köpa på den svenska marknaden. Eftersom många av sensorerna är relativt nya är även ett syfte att identifiera och faktakolla vanliga påståenden företagen gör om sina sensorer.

Avgränsningarna för denna rapport är att sensorerna ska vara möjliga att använda för storskaligt jordbruk i vanliga grödor, ej exempelvis frukt och bär. En annan avgränsning är att identifikationen skulle ska med sensorer som inte kräver att en helt ny växtskyddspruta införskaffas. Hur identifieringen görs, antingen med kameror eller liknande på sprutbommen, drönare eller något annat sätt, spelar ingen roll. Det ska dock inte vara robotar som kan arbeta dag in och dag ut utan endast som komplettering till den redan befintliga maskinparken på gården. Växtskyddet ska även ske genom kemisk bekämpning.

I rapporten tas det inte upp något om specifika herbicider som används i en växande gröda. Den herbicid som tas upp är glyfosat eftersom det är den mest använda herbiciden på marknaden.

1.3 Metod

För att kunna kartlägga sensorerna användes företagens hemsidor, broschyrer med information skapade av antingen företagen själva eller av återförsäljare, intervjuer samt videoklipp. I de fall det fanns forskning som prövade tekniken användes detta både som komplettering och som ytterligare information om sensorerna.

För att faktakolla de generella påståenden som företagen gör användes rapporter från forskning inom de områdena. Sökningen skedde i huvudsak på Google scholar och Web of Science med sökord som herbicide, damage, yield loss, spot spraying samt företagens namn eller deras produkt. Dessa sökord kombinerades sedan på olika sätt för att hitta den relevanta informationen.

2. Resultat

Resultaten för sensorerna redovisas under *tabell 1* och *2* vilka är en sammanfattning av dem. *Tabell 1* visar den tekniska informationen och *tabell 2* visar vilka grödor som sensorerna kan användas i.

Tabell 1: Teknisk fakta om sensorerna.

	Körhastighet	Arbetsbredd	Herbicide-reducering***	Nattetid
Trimble Weedseeker 2	40 km/h	50 cm	90%	Ja
WEED-IT Quattro	25 km/h	1 m**	-	Ja
DAT EcoPatch	25 km/h	6 m	90%	Ja
Bilberry – A Trimble Company	25 km/h	3 m**	98%	På bar mark
PerPlant	10 km/h*	Minst 18 m**	80%	Nej
Carbon Bee SmartStriker X	10 km/h*	3 m**	85%	Ja
Cultiwise	Ca 1 ha/min	-	70%	Nej
RoboWeedMaps	-	-	80%	-

*Kan användas i vanliga hastigheter för besprutning av växtskydd

**Kontrollerar munstyckena separat

***Högsta reducerade mängden enligt företaget

Tabell 2: De marknadsförda grödorna systemen kan användas i. Innehåller inte sensorer som inte kan skilja mellan ogräs och gröda

	DAT EcoPatch	Bilberry	PerPlant	SmartStriker X	Cultiwise	RoboWeedMaps
Vete	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Råg	Ja			Ja		Ja
Havre	Ja	Ja	Ja	Ja		Ja
Korn	Ja	Ja	Ja	Ja		Ja
Majs			Ja	Ja	Ja	Ja
Gräsfrö			Ja			
Vall				Ja		
Raps		Ja	Ja	Ja	Ja	
Socketbetor			Ja	Ja	Ja	Ja
Potatis			Ja		Ja	Ja
Linser		Ja				
Lupin		Ja				
Solros					Ja	
Bondböna						Ja
Spenat						Ja

2.1 Sensorer med ljus

Ett sätt som två av företagen använder för att identifiera ogräs är genom att använda sensorer som skickar ut ljus. Sensorerna fungerar genom att de lyser med blått eller rött ljus som sedan reflekteras tillbaka till sensorn (Trimble 2024). På grund av att gröna växter absorberar våglängder som motsvarar färgerna blått, rött och infrarött ljus (Jou et al. 2015) kan sensorerna detektera minskningen i reflektionen av ljuset. Växterna absorberar även ljus i förhållande till sin storlek eftersom det finns mer yta som kan ta emot ljuset. Detta gör att sensorerna kan skilja på storleken av ogräsen för att sedan påverka hur mycket de sprutar med herbicider. Nackdelen med detta är att det inte går att skilja mellan olika sorters växter utan all grön massa behandlas på samma sätt vilket gör att denna inte är möjlig att använda selektivt i en växande gröda (Trimble 2024).

2.1.1 Trimble WeedSeeker 2

Tekniken

Trimble Agriculture är en del av det amerikanska företaget Trimble som har framställt WeedSeeker 2. Weedseeker 2 placeras på sprutbommen med femtio centimeters mellanrum och varje del kontrollerar då ett munstycke var. Den

fungerar med hjälp av ljus som reflekteras från växten vilket gör att sensorn känner igen att det är en växt som ska besprutas. Den kan endast användas på bar mark eftersom skannern inte kan identifiera specifika ogräs. Att WeedSeeker 2 använder ljus som reflekteras gör det möjligt att köra både på natten och på dagen (Booker 2022; Trimble 2024). Företaget säger själva att WeedSeeker 2 kan ha en minskning av upp till 90% av mängden herbicider som används och det är möjligt att använda systemet i upp till 40 km/h (Trimble 2024).

Gröda och ogräs

Förutom vad WeedSeeker 2 är marknadsfört till kan den kanske användas i vissa grödor. Detta är eftersom det har gjorts experiment med den förra versionen WeedSeeker där de kom fram till att systemet kunde användas i växande gröda. Grödorna som var möjliga att använda WeedSeeker i var de med stora radavstånd vilket gör det möjligt att med rätt inställningar spruta mellan raderna. Den kan dock inte användas i raden med grödan. I experimentet fick de då en minskning på 66% av mängden herbicider som användes (Widderick 2011).

2.1.2 WEED-IT Quattro

Rometron är ett nederländskt företag som har framställt WEED-IT Quattro. Denna sensor placeras på sprutbommen med en meters mellanrum. Denna meter är uppdelad i 4 zoner som sensorn kan skanna ogräs i. Sensorn fungerar likt WeedSeeker 2 genom att den använder reflekterat ljus för att identifiera ogräsen. Skillnaden är att WEED-IT Quattro använder blått ljus istället för rött, vilket de hade innan samt WeedSeeker 2 har, vilket de säger har ökat deras träffsäkerhet. Det finns 3 olika system i sensorn vilka fungerar på lite olika sätt. Det första systemet är punktbesprutning där individuella ogräs besprutas medan resterande del av fältet lämnas i fred. Denna funktion fungerar endast på bar mark. Även det andra systemet fungerar endast på bar mark vilket är dubbel besprutning. Detta system går ut på att individuella ogräs detekteras och får en full dos av herbicidapplicering medan resten av fältet får en låg kontinuerlig dos. Enligt företaget gör detta att alla de ogräs som inte identifieras av sensorn ändå blir behandlade med en dos herbicider. Det tredje systemet är besprutning av hela fältet och det fungerar då som en helt vanlig växtskydds spruta med en jämn och konstant dos. Dosen förändras dock beroende på bland annat hastighet och vart det redan är besprutat. Eftersom systemet använder ljus för att identifiera ogräsen går det att använda systemet på både dagen och natten samt den är möjlig att använda i hastigheter upp till 25 km/h (WEED-IT 2024b).

2.2 Sensor med kamera som besprutar direkt

Till skillnad från sensorerna som använder ljus kan en kamera skilja mellan ogräs och gröda. Detta görs genom att ta bilder på marken som en dator sedan kan analysera. Eftersom detta är mer komplicerat finns fler problem som måste behandlas för att identifieringen ska vara effektiv, det första är damm. Om ett dammkorn fastnar på linsen på kameran kommer bilderna påverkas och datorn kan då inte identifiera alla ogräs eftersom de är bakom dammkornet (Dataväxt 2023). Ett annat problem som identifiering med kameror har är att det måste finnas ett arkiv av bilder som redan är identifierade för att nya ska kunna identifieras. Datorn behöver känna igen bilder på ogräsen i olika tillväxtstadier, grödor och ljus för att bli säkrare. För att detta ska ske krävs det många timmar i fält och många bilder i olika miljöer. (Newman 2024). Ett sista problem som kameror har är att kamerorna endast kan se det ett öga kan se. Detta betyder att ogräsen måste vara synliga från kameran för att de ska kunna identifieras. Exempel på scenarion som gör att en kamera inte kan fotografera ett ogräs är att ogräset är gömt av skugga, grödan eller stubb. Detta gör att det är rekommenderat att använda sensorerna innan stråförskjutningen har skett (Trimble 2023b). En lösning till ett av dessa problem är att använda LED-lampor som lyser upp marken samt gör det möjligt att använda sensorerna på natten. (DAT 2022)

2.2.1 DAT EcoPatch

Tekniken

Dimensions Agri Technologies, DAT, är ett norskt företag som har framställt DAT EcoPatch. Detta är en kamera som kan identifiera ogräs och gröda vilket gör det möjligt att använda detta i växande gröda.

Tekniken fungerar genom att sensorerna placeras på sprutbommen med sex meters mellanrum där varje sensor reglerar om sprutan är på eller av för hela den bredden (DAT 2022). Datorn bestämmer sedan om det är värt att bespruta ogräsen med herbicider eller om kostnaden för applicering är större än kostnaden av mer ogräs. Herbicidanvändningen kan därav minska med upp till 90% och en skördeökning av upp till 9% kan ske i vissa förhållanden (DAT 2024) I genomsnitt är dessa värden runt 43% samt 5% enligt Dataväxt (2023). Sensorn går att använda på både dag som natt med en hastighet upp till 25 km/h (DAT 2022).

Gröda och ogräs

Identifieringen av ogräs kan förutom ske i växande gröda också ske på bar mark (Dataväxt 2023). För identifikation i växande gröda är det i vete, korn, råg och havre det kan ske. Det finns inte heller något behov av att endast använda systemet

i radsådda grödor utan den kan användas i ostrukturerade fält (DAT 2022). Enligt Dataväxt (2023) har DAT EcoPatch en fördel mot andra företag här i Sverige vilket är att den är skapad i och för nordiska förhållanden. Detta gör att den är mer anpassad för de svenska förhållandena än andra sensorer.

2.2.2 Bilberry – A Trimble Company

Tekniken

Bilberry är från början ett franskt företag som köpts upp av Trimble. Det är kameror som fotograferar marken som sedan skannas av en dator som bestämmer om en herbicidapplikation ska ske. Dessa kameror sitter med tre meters mellanrum men där varje munstycke kontrolleras separat. Att det är en kamera som skannar marken gör att det är möjligt att använda sensorn i växande gröda samt på bar mark. För identifikation i växande gröda är det ogräs över fem centimeter i diameter som kan identifieras med en säkerhet av över 90%. För att öka mängden träffade ogräs kan, enligt företaget, två överfarter göras eftersom två överfarter vid 90% träffsäkerhet ger 99% träffat. Den minskade mängden herbicider som används är upp till 98% och systemet går att använda upp till 25 km/h. För besprutning i gröda går detta endast på dagen medans det är möjligt att använda sensorn på bar mark under både dagen och natten.

Gröda och ogräs

Grödorna som systemet kan användas i är vete, korn, havre, linser, lupin och raps (Bilberry 2024). I vete, korn och havre kan de flesta örtogräs med en diameter på över fem centimeter identifieras (Trimble 2023b). I linser kan vicker identifieras och i lupin kan gräs, örtogräs och blålupin identifieras. Dessa kan identifieras i olika stadier beroende på tillväxt och hur ogräsen skiljer sig från huvudgrödan (Trimble 2023e, d, c; a)

2.2.3 PerPlant

Tekniken

PerPlant är ett danskt företag som har framställt en produkt med samma namn. Sensorn fungerar genom att skanna marken för att sedan detektera avvikelser vilket den kan göra på både bar mark och i växande gröda. Den installeras på traktortaket där sensorn läser av marken. Enligt företaget kan detta leda till en minskning av upp till 80% i herbicidanvändning och en ökning av upp till 10% i skördevolym. Sensorn klarar detta i hastigheter lite över normala körhastigheter vid besprutning samt endast på dagtid.

Gröda och ogräs

Grödorna sensorn kan arbeta i är vete, gräsfrö, potatis, raps, majs, sockerbetor, korn och havre (PerPlant 2024).

2.2.4 Carbon Bee SmartStiker X

Tekniken

Carbon Bee är ett franskt företag som framställt SmartStriker X. Detta är en sensor som fungerar att användas i både gröda som på bar mark. Sensorn har ett liknande system som WEED-IT Quattro har med att det finns tre olika inställningar, punktbesprutning, dubbel besprutning och en vanlig besprutning. Skillnaden är att SmartStriker X kan göra punktbesprutningen och den dubbla besprutningen i växande gröda. Den vanliga besprutningen har även en skillnad i att den varierar efter hur mycket biomassa det finns på marken, mer biomassa ger en mer besprutning. Sensorn placeras med tre meters mellanrum på sprutbommen men alla munstycken kontrolleras separat från varandra (Carbon Bee 2024b). Enligt företaget kan den minskade mängden herbicider vara mellan 60% till 90% i växande gröda och sensorn går att använda på både dag som natt i vanliga besprutningshastigheter (*Carbon Bee AgTech - SmartStriker - 06112019 2019*).

Gröda och ogräs

Grödorna som sensorn kan användas i är sockerbetor (Stork 2024), vall, majs (*Carbon Bee AgTech - SmartStriker Green on Green option 2020*), spannmål, raps och grönsaker (Carbon Bee 2019). Ogräsen i sig kan identifieras ned till familj eller artnivå i vissa fall (Carbon Bee 2024a).

2.3 Sensorer med kamera som skapar en styrfil

Dessa sensorer fungerar på liknande sätt som de sensorer som presenterades innan men kamerorna sitter inte på sprutbommen eller traktorn vilket leder till att dessa system först skannar marken för att sedan skapa en styrfil. Tiden det tar mellan att skanningen skedde och att styrfilen skapas beror helt på företaget.

2.3.1 Cultiwise

Tekniken

CultiWise är ett tjeckiskt företag som har en drönare som skannar av hela fältet och sedan skapar en styrfil vilken kan användas vid besprutning. Drönaren fotograferar hela fältet för att sedan låta en dator skanna bilderna och utifrån det ge styrfiler inför besprutningen. Att det är kameror som fotograferar marken gör det är möjligt att

använda drönaren både på bar mark och i växande gröda. Detta kan enligt företaget ge en minskning av upp till 70% i herbicidanvändning. Eftersom det är en drönare som skannar marken är traktorns hastighet inte relevant men drönaren kan skanna ungefär en hektar i minuten. Sedan tar det en viss tid innan styrfilen är skapad.

Gröda och ogräs

De grödor som CultiWise kan användas i är majs, sockerbetor, solros, vete, potatis, soja och raps. I växande gröda kan ogräsen identifieras ned till familj, släkte eller vissa arter beroende på behovet (Cultiwise 2024).

2.3.2 RoboWeedMaps

Tekniken

RoboWeedMaps är ett sammarbete mellan I-GIS, Datalogical och Patriotic Society. Den fungerar genom att kameror på en ATV hyrs in och körs över fältet av företaget där marken fotograferas. Dessa fotografier analyseras sedan för att några dagar senare producera en styrfil. Den kan göra detta både på bar mark och i växande gröda. Detta kan leda till besparingar av herbicidanvändning mellan 50% till 80% (Holmgaard 2023).

Gröda och ogräs

De grödor som RoboWeedMaps kan användas i är höstspannmål, vete, råg, majs, sockerbeta, bondböna, potatis och spenat. Ogräsen som kan identifieras är monokotyledoner, dikotyledoner och åkertistel (*Cirsium arvense*) (I-GIS 2024). Av de tvåhjärtbladiga ogräsen kan fyrtiotvå olika arter identifieras till en storlek av en gång en centimeter (Holmgaard 2023).

2.4 Ökad skörd med hjälp av sensorer

Ett vanligt påstående som företagen gör om sina sensorer är att skörden kan öka om deras sensorer används. Oftast dödar herbiciderna ogräsen som finns på åkern och om de inte lyckas med det ska herbiciden skada och hämma ogräset så att grödan blir mer konkurrenskraftig. I vissa fall kan dock herbiciden även skada grödan (Sea et al. 2012). Hur mycket som herbiciden skadar grödan beror på hur grödan och herbiciden interagerar med varandra och hur mycket av herbiciden som appliceras. En annan faktor som påverkar hur växten påverkas är temperaturen vid appliceringen. Köld, speciellt köldstress har visats öka mängden skada en gröda tar från herbiciden (Reddy et al. 1990). Storleken på skadan beror dock på om växten har fått acklimatisera sig till kölden eller om det är en ny stress (Martini et al. 2021).

Även andra former av stress kan påverka skadan herbicider kan göra på grödan. Exempel på dessa är värmestress, sjukdomsstress, fuktstress i marken och insektstress. Det är dock oklart hur mycket alla dessa former av stress påverkar skadan en herbicid gör eftersom det finns för lite forskning inom det området (Bagavathiannan et al. 2017). Detta gör att uppskattningar om hur stor skördeökningen blir är väldigt svåra att göra.

2.5 Oberoende försök på sensorerna

Som tidigare nämnt finns det inte mycket forskning som jämför eller testar sensorerna. Detta gör att det inte finns oberoende tester som testar de påståenden som företagen anger. Det finns dock försök med två av företagens gamla produkter, de sensorerna är WEED-IT och Trimble WeedSeeker.

2.5.1 Herbicidreducering med hjälp av sensorer

Ett annat påstående som företagen gör är att om deras sensorer används kan användningen av herbicider minska. I försök över längre tid kom Genna et al. (2021) fram till att sensorerna kunde minska herbicidanvändningen runt 50% för båda systemen. Detta har även visats i andra experiment där punktbekämpning minskar herbicidanvändningen med 50% i genomsnitt över en säsong (Young et al. 2008; Fischer et al. 2020).

2.5.2 Sensorer mot varandra

Både Genna et al. (2021) och McCarthy (2016) fann att andelen detekterade ogräs var större med WEED-IT än WeedSeeker. WEED-IT detekterade alla ogräs i olika storlekar medans WeedSeeker detekterade 80% av små ogräs och 95% av de stora. WEED-IT hade förutom bättre detektering av ogräs fler ”missar” i att den detekterade ett ogräs även om det inte fanns något där vilket gjorde att den besprutade på bar mark (McCarthy 2016). En slutsats som Genna et al. (2021) hade var dock att ogräs stora som små var ett problem för sensorerna att detektera. De hade en optimal arbetsstorlek på medelstora ogräs.

En annan aspekt som McCarthy (2016) tog upp är hur långt systemen sprutade både innan och efter att ett ogräs hade detekterats. WEED-IT hade en sprutlängd på 500 mm medans WeedSeeker hade en sprutlängd på 150 mm. En längre sprutlängd betyder att fler ogräs som detekteras får den tänkta dosen herbicider än om sprutlängden är kort. Detta beror på att avdrift på grund av vind starkt påverkar pricksäkerheten av punktbekämpningen.

Resultatet från experimentet utfört av Genna et al. (2021) fann att ogräskontrolleringen var sämre med punktbekämpning än med en jämn besprutning av herbicider över hela fältet i besprutning innan sådd. Efter skörd fann de att

ogräskontrollen var lägre än innan sådd, men båda formerna av besprutning hade samma låga ogräskontroll. Några troliga anledningar till detta berodde troligtvis på att det var större ogräs, torrare och skörderester som påverkade mängden herbicider som nådde ogräset.

Ur ekonomisk synpunkt kom Genna et al. (2021) fram till att den yta som måste vara täckt av ogräs, eller inte täckt, för att en punktbesprutning ska vara mer lönsam har väldigt många faktorer som spelar in så som kostnad av sensor, herbicid och grödan. De kom dock fram till att det är viktigt att väga den minskade ogräskontrolleringen mot de ekonomiska besparingar som görs med den minskade mängden herbicider som används (Genna et al. 2021).

3. Diskussion

Till att börja med är den stora frågan varför det inte finns forskning som testar sensorerna. Det enkla svaret är att de är för nya, många av företagen är endast några år gamla och har därför inte haft några produkter möjliga att köpa eller testa. Dock kommer det troligtvis många tester som jämför de olika sensorerna och som prövar deras förmågor inom en snar framtid. Det finns även fler företag förutom de som nämns i denna rapport som det kan ha skett försök med men eftersom de inte är för den svenska marknaden tas det inte upp här. Utöver forskningen med sensorerna finns det mycket forskning kring punktbesprutning men de har då framställt sina egna sensorer.

3.1 Sensorernas användning

Flera av systemen som finns tillgängliga eller som inom snar framtid kommer att finnas tillgängliga på den svenska marknaden har en stor relevans för lantbrukare och den framtida utvecklingen av ett hållbarare lantbruk. På grund av den minskade mängden herbicider som skulle användas leder det till att mindre herbicider kommer försvinna från fälten på grund av avdrift. En annan fördel är den minskade utvecklingen av resistens hos ogräsen eftersom den nuvarande utvecklingen är ett stort hot för lantbrukarna. Om resistensutvecklingen minskar kommer fler av de preparat som finns på marknaden kunna användas längre med samma effektivitet.

De sensorer som inte kan användas, marknadsfört, i växande gröda har fortfarande en stor relevans i sin möjlighet att minska mängden herbicider. Eftersom viktmässigt används glyfosat mer än alla andra herbicider tillsammans leder detta till att en minskad mängd applicerat kommer att starkt påverka hur mycket herbicider som används i Sverige. Den forskning som finns vilken testar de olika system mellan raderna av grödor har också en stor relevans eftersom den visar att systemen går att använda till mer än vad de är tänkta till. Då varje munstycke kontrolleras separat går det att använda sensorerna när det finns tillräckligt stora radavstånd. Detta kräver att kamerorna inte flyttas i sidled av att lantbrukaren kör snett.

Sensorerna som inte kan används i växande gröda har dock en nackdel i just det. Eftersom många lantbrukare ökar mängden höstsådda grödor gör det att fler

besprutningar i växande gröda görs. Då mängden herbicider som används, vilka behöver köpas, minskar kommer detta att leda till att användningen av sensorer i gröda blir ännu mer lönsamt. En annan aspekt är även den ökade skörden. En ökad skörd för ett lägre pris är högst troligtvis mycket tilltalande för lantbrukarna. En tredje fördel med att använda sensorerna som kan identifiera ogräsarten är att vid ogräskontrollering av en viss art kan systemen användas till att bara bespruta på de växterna. Detta leder ofta till den höga herbicidreduktionen som företagen säger att de kan få om systemen används. Den generella ogräskontrolleringen är dock lägre med punktbesprutningssystemen vilket gör att vissa ogräspopulationer kan uppföras. Enligt Bilberry kan en andra överfart leda till att de missade ogräsen också besprutas men där är frågan varför de inte detekterades vid första överfarten. Om det är något som blockerar kamerans sikt kanske detta inte förändrats till den andra överfarten vilket leder till att kamerorna missar att detektera ogräset igen. Det blir även problematiskt med två överfarter eftersom de besprutade ogräsen måste kunna skiljas från de andra. Detta kan göras genom att vänta med den andra överfarten tills de besprutade ogräsen har dött men det leder till att ogräsen antingen har blivit för stora för att effektivt bekämpas eller att grödan inte tillåter en besprutning av olika anledningar.

För sensorerna som kan användas i växande gröda sticker DAT EcoPatch ut i att det är den enda sensorn som inte kontrollerar munstyckena på sprutbommen separat utan gör det i sex meters sektioner. Detta leder till en minskning i mängden herbicider som är applicerade mot vanlig bredsprutning men beroende på hur de räknar kommer antingen ogräs inte bli besprutade eller så kommer barmark besprutas. Att ogräs inte besprutas beror då troligtvis på att de inte är stora eller många nog medans besprutningen på bar mark kan ske på grund av att det inte växer ogräs under hela sektionen. Detta kan vara en av anledningarna till att den sagda genomsnittliga minskningen av herbicider är mindre än mot andra försök. DAT EcoPatch har dock fördelen mot de andra, förutom speciellt RoboWeedMaps, i att de är skapade i ett nordiskt klimat och för den nordiska floran. Detta leder till att systemet har hunnit lära sig mer av hur det ser ut i de svenska åkrarna i jämförelse med ett företag som inte ännu har en produkt i bruk i Sverige. För de sensorer som inte finns i Sverige kommer det krävas många timmar i fält för att sensorerna ska kunna bli lika säkra i sin detektering och identifiering eftersom deras bildarkiv inte helt stämmer med hur det ser ut i Sverige. En annan anledning till varför dessa sensorer har en nackdel är att de kanske inte har bilder som motsvarar den flora som finns i Sverige. Eftersom det finns olika ogräs på olika platser i världen kommer inte alla sensorer kunna användas för alla ogräs i alla olika klimat. Att DAT EcoPatch och RoboWeedMaps är skapade för nordiska klimat gör att de från början har fokus på den svenska floran.

För sensorerna som kan användas i växande gröda men inte samtidigt som besprutningen sker finns det både problem och fördelar. Ett problem är att ogräs

kan växa upp mellan skanningen och besprutningen. Detta gör att ogräs som behöver behandlas inte blir det. En lösning till detta skulle vara att minska tiden det tar för sensorerna att skapa en styrfil men detta styrs av företagen. Ett annat problem sensorerna som skapar en styrfil har är att beroende på hur vädret är när det är dags för en besprutning kan styrfilen bli gammal och irrelevant. Detta kan ske om det blir dåligt väder vilket leder till att besprutningen måste vänta vilket gör att ogräsen och grödan förändras mot styrfilen. Fördelen detta system har är dock att mängden vätska som behövs för besprutning redan är bestämt. Vid användning av de andra systemen går det inte att veta hur mycket herbicider som kommer att gå åt vilket gör att det kan bli vätska kvar i tanken men eftersom mängden redan är bestämd kommer detta inte att ske.

För båda sorterna av sensorer som används i gröda uppstår även en fråga i varför de endast kan användas i vissa grödor medan de inte kan användas i andra, se exempelvis råg. Grödorna som systemen går att använda i beror helt på vilket bildarkiv företagen har. Små skillnader för oss kan vara enorma för en dator vilket gör att skillnaderna mellan de olika grödorna spelar en stor roll i hur väl de identifieras.

3.2 De vanliga påståendena

Det företagen tar upp med att de kan öka skörden och minska herbicidanvändningen med upp mot 70-90% är sant, dock i vissa scenarion. Som forskning har visat kan skörden öka men det beror på många olika faktorer och hur mycket som skörden ökar måste forskas vidare på för att kunna ge ett medelvärde. Det finns dock mer forskning kring herbicidbesparingarna över en säsong där genomsnittet ligger på en minskning av 50% i herbicidanvändning. Denna minskning beror även på hur det resterande arbetet ser ut på gården eftersom goda växtföljder och andra ogräskontroller påverkar hur mycket ogräs som finns på gården.

En annan aspekt i herbicidreduktionen är när applikationen sker. Att applicera herbiciderna när det är optimalast för ogräskontrolleringen gör att minder herbicider behöver användas men detta kan leda till en högre avdrift. Då det ofta är lugnast vindar på morgonen kommer den lägsta mängden avdrift att ske i samband med besprutningen vid den tidpunkten, även kvällen kan ha lugna vindar. Ur miljösynpunkt är detta viktigt då inga herbicider hamnar på platser de inte ska men för punktbesprutning finns det en annan fördel. Den fördelen är att precisionen av appliceringen är större. Då punktbesprutningen gör att herbicider bara sprutas under en kort stund är det viktigt att det som sprutas kommer på målet. I vanliga fall är det inte lika viktigt om herbiciden förflyttas någon centimeter eftersom det då kommer en annan dos som har flyttats lika mycket, men eftersom det inte finns den andra dosen kommer punktbesprutningen att påverkas mycket mer. Hur långt,

sprutlängden, som de olika sensorerna sprutar blir då mycket viktigt. Dock kan förflyttning i sidled inte påverkas av att sprutlängden är långt.

3.3 Ogräskontroll

Ett problem som alla sensorer har är att små och stora ogräs är svåra att detektera eller att detektera storleken av. Att de inte detekteras som små gör att de växer upp och kan påverka grödans tillväxt. En lösning till de små ogräsen är att använda en dubbel besprutning, en med konstant låg dos över hela fältet och en med en hög dos på de identifierade ogräsen. Dock leder detta till att vinsten av att använda punktbesprutningssystem kommer att minska. En annan lösning skulle kunna vara att inte bry sig om de små ogräsen eftersom de inte kommer att kunna påverka grödan så mycket eftersom grödan redan har blivit relativt konkurrenskraftig. De stora ogräsen har inte problemet i att de inte detekteras utan att de inte detekteras till den storlek de är i. Att de inte detekteras till den storlek de är i gör att fel antal munstycken öppnas på sprutbommen och en felaktig dos av herbicider appliceras. Detta kan leda till att ogräset både överlever och börjar utveckla resistens.

3.4 Framtiden

För framtiden och för lantbrukarna finns det mycket forskning som skulle behöva göras för att identifiera hur bra sensorerna är. Några intressanta områden att forska om är hur produkterna fungerar i olika ljus, både i mängd och färg, exempelvis mitt på dagen mot soluppgång. Ett annat område är hur väl produkterna som kan identifiera ogräs kan göra det i olika stadier både för grödan och för ogräset. Ett tredje område är att se hur produkterna fungerar i olika områden med varierande mark, flora och tillväxt och ett fjärde är att se sprutlängden som sensorerna har och hur det påverkar deras träffsäkerhet. Även träffsäkerheten i sig själv är intressant då hur bra produkterna är på att se ogräsen varierar.

Det kommer troligtvis hända mycket inom den snara framtiden inom detta fältet då mycket av tekniken som används är relativt ny. Med fler timmar i fält kommer systemen bli bättre på att detektera ogräs samt att identifiera dem medans det kommer att komma fler och fler möjligheter för alla system för att använda dem i olika grödor. Ett exempel på hur fort utvecklingen går är att två av företagens hemsidor har förändrats medan jag har skrivit denna rapport.

4. Sammanfattning

Sammanfattningsvis så finns det flera företag som finns eller kommer att finnas på den svenska marknaden inom en snar framtid. De har alla potential till att sänka herbicidanvändningen betydligt med ett genomsnitt på 50%. Enligt gammal forskning på gamla system finns det problem med de små och de stora ogräsen då systemen antingen har svårt att detektera dem eller för att systemen inte förstår hur stora de är och därav kan de inte ge rätt dos herbicider. För framtiden finns det dock stora hopp. Det är en bransch som är under stor utveckling och ju mer sensorerna används desto bättre kommer de att bli. Detta märks även av i hur mycket som händer runt om sensorerna med företagen.

Tack

Stort tack till Theo Verwijst som har varit handledare för detta arbete samt biträdande handledare Anneli Lundkvist och Jonas Schön som har hjälpt med idéer och upplägget på rapporten.

Referenser

- Bagavathiannan, M., Singh, V., Govindasamy, P., Abugho, S.B. & Liu, R. (2017). Impact of Concurrent Weed or Herbicide Stress with Other Biotic and Abiotic Stressors on Crop Production. I: Senthil-Kumar, M. (red.) *Plant Tolerance to Individual and Concurrent Stresses*. Springer India. 33–45. https://doi.org/10.1007/978-81-322-3706-8_3
- Berglund, G. (2019). *Baldersbrå och blåklint – årets ogräs | Landlantbruk.se. Land Lantbruk*. <https://www.landlantbruk.se/hart-drabbade-falt-kan-mista-20-procent-av-skorden> [2024-05-17]
- Bilberry (2024). bilberry – A Trimble Company. <https://bilberry.io/> [2024-04-09]
- Booker, R. (2022). Trimble adds green-on-green spray tech partner. *The Western Producer*. <https://www.producer.com/crops/trimble-adds-green-on-green-spray-tech-partner/> [2024-04-08]
- Boström, U., Anderson, L.E. & Wallenhammar, A.-C. (2012). Seed distance in relation to row distance: Effect on grain yield and weed biomass in organically grown winter wheat, spring wheat and spring oats. *Field Crops Research*, 134, 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.06.001>
- Carbon Bee (2019). *Carbon Bee AgTech releases SmartStriker - Hall 11. The Farming Forum*. <https://thefarmingforum.co.uk/index.php?threads/carbon-bee-agtech-releases-smartstriker-hall-11.303804/> [2024-04-08]
- Carbon Bee (2024a). A new day is starting at #agritechnica! – Carbon Bee. <https://carbonbee.fr/2024/01/19/a-new-day-is-starting-at-agritechnica/> [2024-04-08]
- Carbon Bee (2024b). Carbon Bee. <https://carbonbee.fr/> [2024-04-10]
- Carbon Bee AgTech - SmartStriker - 06112019 (2019). . https://www.youtube.com/watch?v=j_p-5IZpMqQ [2024-04-10]
- Carbon Bee AgTech - SmartStriker Green on Green option (2020). . <https://www.youtube.com/watch?v=ROR1gvnkytU> [2024-04-08]
- Chkhetiani, O.G., Gledzer, E.B., Artamonova, M.S. & Iordanskii, M.A. (2012). Dust resuspension under weak wind conditions: direct observations and model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12 (11), 5147–5162. <https://doi.org/10.5194/acp-12-5147-2012>
- Cobb, A.H. (2022). *Herbicides and Plant Physiology*. John Wiley & Sons.
- Cultiwise (2024). Home. *CultiWise*. <https://cultiwise.com/> [2024-04-08]
- DAT (2022). *Dimensions-Agri-Technologies_General-info.pdf*. https://thorsenteknik.dk/wp-content/uploads/2023/05/Dimensions-Agri-Technologies_General-info.pdf [2024-04-08]
- DAT (2024). *Front page. DAT*. <https://www.dimensionsagri.no/> [2024-04-09]
- Dataväxt (2023). *DAT EcoPatch - Rätt växtskyddsinsats på rätt plats med DAT EcoPatch- Dataväxt*. <https://datavaxt.com/sv/produkter/dat-ecopatch/> [2024-04-08]
- Fischer, J.W., Thorne, M.E. & Lyon, D.J. (2020). Weed-sensing technology modifies fallow control of rush skeletonweed (*Chondrilla juncea*). *Weed Technology*, 34 (6), 857–862. <https://doi.org/10.1017/wet.2020.76>
- Gaines, T.A., Duke, S.O., Morran, S., Rigon, C.A.G., Tranel, P.J., Küpper, A. & Dayan, F.E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal*

- of *Biological Chemistry*, 295 (30), 10307–10330. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.013572>
- Genna, N.G., Gourlie, J.A. & Barroso, J. (2021). Herbicide Efficacy of Spot Spraying Systems in Fallow and Postharvest in the Pacific Northwest Dryland Wheat Production Region. *Plants*, 10 (12), 2725. <https://doi.org/10.3390/plants10122725>
- Holmgaard, C. (2023). *Reducér brugen af planteværn med præcis kortlægning og artsbestemmelse af dit ukrudt | Patriotisk Selskab*. <https://patriotisk.dk/rwm/> [2024-05-08]
- I-GIS (2024). I-GIS: RoboWeedMaps. *I-GIS A/S*. <https://i-gis.dk/roboweedmaps/> [2024-05-08]
- Jordbruksverket (2024a). *Herbicidresistens*. https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr225.pdf [2024-05-03]
- Jordbruksverket (2024b). *Preliminära grödarealer efter Län, Gröda och År*. https://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets%20statistikdatabas/Jordbruksverkets%20statistikdatabas__Arealer__Preliminar%20arealsstatistik/JO0104C01.px/table/tableViewLayout1/ [2024-05-06]
- Jou, J.-H., Lin, C.-C., Li, T.-H., Li, C.-J., Peng, S.-H., Yang, F.-C., Thomas, K.R.J., Kumar, D., Chi, Y. & Hsu, B.-D. (2015). Plant Growth Absorption Spectrum Mimicking Light Sources. *Materials*, 8 (8), 5265–5275. <https://doi.org/10.3390/ma8085240>
- Kemikalieinspektionen (2023). Försålda kvantiteter av bekämpningsmedel 2022. (511 470)
- Lundkvist, A. & Verwijst, T. (2011). Weed Biology and Weed Management in Organic Farming. I: *Research in Organic Farming*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/31757>
- Martini, L.F.D., Roma-Burgos, N., Tseng, T.-M., V Fipke, M., A Noldin, J. & A de Avila, L. (2021). Acclimation to cold stress reduces injury from low temperature and bispyribac-sodium on rice. *Pest Management Science*, 77 (9), 4016–4025. <https://doi.org/10.1002/ps.6425>
- McCarthy, W. (2016). Validation of Commercial Precision Spraying Technology.
- Milberg, P. & Hallgren, E. (2004). Yield loss due to weeds in cereals and its large-scale variability in Sweden. *Field Crops Research*, 86 (2), 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.006>
- Miller, R.P., Martinson, K.B., Sothorn, R.B., Durgan, B.R. & Gunsolus, J.L. (2003). Circadian Response of Annual Weeds in a Natural Setting to High and Low Application Rates of Four Herbicides with Different Modes of Action. *Chronobiology International*, 20 (2), 299–324. <https://doi.org/10.1081/CBI-120019344>
- Newman, N. (2024). 2024 National Farm Machinery Show: New Planter Attachments, 6 Proven Profitable Planting Tips & More. <https://www.no-tillfarmer.com/articles/13101-2024-national-farm-machinery-show-new-planter-attachments-6-proven-profitable-planting-tips-and-more> [2024-04-15]
- Norsworthy, J.K., Ward, S.M., Shaw, D.R., Llewellyn, R.S., Nichols, R.L., Webster, T.M., Bradley, K.W., Frisvold, G., Powles, S.B., Burgos, N.R., Witt, W.W. & Barrett, M. (2012). Reducing the Risks of Herbicide Resistance: Best Management Practices and Recommendations. *Weed Science*, 60 (SP1), 31–62. <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1>
- PerPlant (2024). *Produkt. PerPlant*. <https://www.perplant.ai/services-5> [2024-04-08]
- Peterson, M.A., Collavo, A., Ovejero, R., Shivrain, V. & Walsh, M.J. (2018). The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Management Science*, 74 (10), 2246–2259. <https://doi.org/10.1002/ps.4821>

- Reddy, V.R., Baker, D.N., Whisler, F.D. & McKinion, J.M. (1990). Analysis of the effects of herbicides on cotton yield trends. *Agricultural Systems*, 33 (4), 347–359. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(90\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0308-521X(90)90060-4)
- Sea, W.B., Sykes, N. & Downey, O. (2012). *A new method for assessing herbicide damage in weeds*. <https://www.webofscience.com/wos/alldb/full-record/CABI:20123367585> [2024-04-15]
- Soleymani, A. & Shahrajabian, M.H. (2017). Effects of planting dates and row distance on sugar content, root yield and solar radiation absorption in sugar beet at different plant densities. *Romanian agricultural research*, 34, 1–11
- Starchenko, A.V., Shelmina, E.A., Kizhner, L.I., Odintsov, S.L., Prokhanov, S.A., Danilkin, E.A. & Strebkova, E.A. (2021). Application of mesoscale models for numerical investigation of urban air quality at calm wind conditions. *Proceedings of 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics*, december 15 2021. 1398–1408. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2603434>
- Statistiska Centralbyrån (2022). Växtskyddsmedel i jord- och trädgårdsbruket 2021. https://www.scb.se/contentassets/6e042f0902bb449fb15edc4c1eb8e22c/mi0502_2021i20_br_mi31br2202.pdf [2024-05-06]
- Statistiska Centralbyrån (2023). Växtskyddsmedel i jordbruket 2022. https://www.scb.se/contentassets/12e94ca362884cbf835924425a3b4a04/mi0501_2022a01_br_mi31br2301.pdf [2024-05-02]
- Stork, F. (2024). *Listan: Här är den nya växtskyddstekniken*. ATL. <https://www.atl.nu/listan-har-ar-den-nya-vaxtskyddstekniken> [2024-04-03]
- Takano, H.K., Ovejero, R.F.L., Belchior, G.G., Maymone, G.P.L. & Dayan, F.E. (2020). ACCase-inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship. *Scientia Agricola*, 78, e20190102. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0102>
- Tranel, P.J. & Wright, T.R. (2002). Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Science*, 50 (6), 700–712. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0700:RROWTA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0700:RROWTA]2.0.CO;2)
- Trimble (2023a). *Blue-Lupin-in-Lupins-Application-Booklet-Green-on-Green.pdf*. <https://bilberry.io/wp-content/uploads/2023/12/Blue-Lupin-in-Lupins-Application-Booklet-Green-on-Green.pdf> [2024-04-08]
- Trimble (2023b). *Broadleaf-in-Cereals-Application-Booklet-Green-on-Green-1.pdf*. <https://bilberry.io/wp-content/uploads/2023/12/Broadleaf-in-Cereals-Application-Booklet-Green-on-Green-1.pdf> [2024-04-08]
- Trimble (2023c). *Broadleaf-in-Lupins-Application-Booklets-Green-on-Green.pdf*. <https://bilberry.io/wp-content/uploads/2023/12/Broadleaf-in-Lupins-Application-Booklets-Green-on-Green.pdf> [2024-04-08]
- Trimble (2023d). *Grass-in-Lupins-Application-Booklet-Green-on-Green-1.pdf*. <https://bilberry.io/wp-content/uploads/2023/12/Grass-in-Lupins-Application-Booklet-Green-on-Green-1.pdf> [2024-04-08]
- Trimble (2023e). *Vetch-in-Lentils-Application-Booklet-Green-on-Green.pdf*. <https://bilberry.io/wp-content/uploads/2023/12/Vetch-in-Lentils-Application-Booklet-Green-on-Green.pdf> [2024-04-08]
- Trimble (2024). *WeedSeeker 2 Spot Spray System*. Trimble Agriculture. <http://https%3A%2F%2Fww2.agriculture.trimble.com%2Fproduct%2Fweedseeker-2-spot-spray-system%2F> [2024-04-08]
- Ustuner, T., Al Sakran, M. & Almhemed, K. (2020). Effect of Herbicides on Living Organisms in The Ecosystem and Available Alternative Control Methods. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 10 (8), 622–632. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.10.08.2020.p10480>

- WEED-IT (2024a). *Spot Spraying - Farming Technology*. WEED-IT. <https://www.weed-it.com/knowledge-centre/applications/spot-spraying> [2024-04-15]
- WEED-IT (2024b). *WEED-IT Quadro - Weed Detection & Elimination*. WEED-IT. <https://www.weed-it.com/weedit-quadro> [2024-04-09]
- Widderick, M. (2011). Continued delivery of applied solutions to weed issues in central Queensland.
- Young, F.L., Yenish, J.P., Launchbaugh, G.K., McGrew, L.L. & Alldredge, J.R. (2008). Postharvest Control of Russian Thistle (*Salsola tragus*) with a Reduced Herbicide Applicator in the Pacific Northwest. *Weed Technology*, 22 (1), 156–159

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.