



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Droner og sted- specifik bekæmpelse af tidsler før kornhøst

Bekæmpelsesmiddelforskning
nr. 190

Oktober 2020

Udgiver: Miljøstyrelsen

Forfattere:

Jesper Rasmussen,
Jon Nielsen, Institut for Plante- og
Miljøvidenskab, Københavns Universitet

Søren I. Olsen, Datalogiske Institut, Københavns
Universitet

Fotos:

Jesper Rasmussen

ISBN: 978-87-7038-239-7

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Forord	4
2.	Sammendrag og konklusion	5
3.	Summary and conclusion	6
4.	Indledning	7
4.1	Baggrund	7
4.2	Formål	7
5.	Forbedring af billedanalysen	9
5.1	Weeddetect	9
5.2	Andre analysemetoder	11
5.3	Diskussion og konklusion	12
6.	Tidslers udbyttmæssige betydning - konkurrenceforsøg	14
6.1	Forsøgene	14
6.2	Bestemmelse af tidselforekomst	16
6.3	Statistiske analyser	19
6.4	Resultater	20
6.5	Diskussion og konklusion	26
7.	Fra dronefoto til pletsprøjtning – fuldskalaforsøg	28
7.1	Afviselser fra projektansøgningen	28
7.2	Ruteplanlægning og fotografering	28
7.3	Orto-mosaikker	30
7.4	Billedanalyse med Thistle Tool	31
7.5	Indlæsning af tildelingsfiler i sprøjteterminaler	31
7.6	Præcision ved pletsprøjtning	32
7.7	Diskussion og konklusion	36
8.	Økonomiske betragtninger	38
9.	Hvad har vi lært og hvordan kommer man videre?	40
9.1	Forsøgsarbejdet kræver noget ekstra	40
9.2	Produktudvikling nødvendig	40
10.	Konklusion	42
10.1	Billedanalyse	42
10.2	Tidslers konkurrenceevne	42
10.3	Fra dronefoto til pletsprøjtning	42
11.	Litteratur	43

1. Forord

Nærværende projekt (J.nr. 667-00251) er gennemført som et samarbejdsprojekt mellem Institut for Plante- og Miljøvidenskab, KU og Datalogisk Institut, KU og SEGES som ekstern partner. Projektet er gennemført under Miljøstyrelsens forskningsprogram til understøttelse af grundlaget for udvikling af monitorings-, varslings- og beslutningsstøttesystemer i perioden 2015 – 2018.

Nogle af projektets aktiviteter er blevet delvist finansieret af projektet Future Cropping (J.nr. 5107-00002B), Innovationsfonden, da det viste sig praktisk umuligt at gennemføre dem uden ekstra finansiering. Det gælder især forsøgene med pletsprøjtning, som krævede flere ressourcer end budgetteret.

En række personer har bidraget til projektets gennemførelse. Her skal nævnes Jens Erik Jensen (SEGES), som har varetaget kontakten til de lokale konsulenter og været en god støtte for projektet, Rita Hørfarter (SEGES) som har ydet et uvurderligt bidrag ved at konvertere TIFF filer til tildelingskort og fungeret som en utrættelig problemknuser ved indlæsning af tildelingskort i sprøjteterminalerne, Bo M Secher (Nordic Sugar) som hjalp med forsøgsarbejdet og udgjorde en inspirerende sparringspartner i projektets første år og Christian Bang Davidsen (VKST), som var behjælpelig med forsøgene på Falster i 2017.

Tak til de landmænd som stillede marker til rådighed og viste interesse for projektet.

Tak til Ilse A. Rasmussen, Peter Kryger Jensen, Christian Andreassen og Ulla Jakobsen for gennemlæsning og kommentering af rapporten.

2. Sammendrag og konklusion

Projektet er udført i forlængelse af Miljøstyrelsesprojektet, *Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn* (2013-2015) (J.nr. 667-00138), hvor det blev vist, at droner kan anvendes til at kortlægge tidsler i korn før høst. I nærværende projekt sættes kortlægningen ind i en praktisk og helhedsorienteret sammenhæng, med det formål at demonstrere og vurdere pletsprøjtning af tidsler på grundlag af dronefotos (<https://futurecropping.dk/video-faa-dronen-registrere-tidsler-spar-paa-kemien/>). Der har desuden været arbejdet med at forbedre den billedanalyse, som ligger til grund for kortlægningen, samt at udvikle en hurtig metode til kvantificering af tidslers udbyttmæssige betydning i korn. Projektet har vist, at fotografering med droner og billedanalyse til detektion af tidsler kan gennemføres uden nævneværdige problemer. Fotograferingen tog cirka 2 min. pr ha, og billedanalysen med værktøjet Thistle Tool tog mindre end et minut pr. ha. De dannede herbicid-tildelingskort havde en høj nøjagtighed både med hensyn til detektion af tidsler og med hensyn til tidslernes geografiske placering. Tidseldetektionen havde en nøjagtighed på cirka 95% og cirka 95% af arealerne med detekterede tidsler blev ramt af sprøjtevæske, når der blev anvendt sprøjter med 3 m bomsektioner. Ved anvendelse af 0,5 m sprøjtesektioner, blev kun cirka 90% af de detekterede arealer sprøjtet korrekt, på grund af tekniske kapacitetsproblemer. De største udfordringer i forbindelse med pletsprøjtning opstod i forbindelse med indlæsning af tildelingskort i de forskellige sprøjteterminaler. Mangel på standarder udgjorde en så alvorlig barriere, at det i enkelte tilfælde måtte opgives at pletsprøjte, da tildelingskortene ikke kunne indlæses i sprøjteterminalen. Især har konvertering af shape-filer til ISOXML voldt meget store problemer. Projektet har vist at tidseldetektionen kan forbedres med mere avancerede billedanalysemetoder. I dette projekt er der udviklet en ny analysemetode, Weeddetect, som især har vist forbedringer i vårbyg med grøns kud og uensartet modenhed. Metoden er ikke udviklet til at kunne analysere store billedmængder på kort tid, og har derfor ikke været anvendt i forsøgene med pletsprøjtning. Der er udviklet en ny metode til at bestemme tidslers udbyttmæssige betydning, som kan anvendes i gårdstudier, og som kræver et minimalt tidsforbrug til registreringsarbejde. Metoden er langt mindre arbejdskrævende, end de metoder som er baseret på optælling af tidsels kud eller bestemmelse af biomasse. Med den nye metode er tidslernes konkurrenceevne bestemt ud fra dronefotos i 8 marker. Som gennemsnit skulle tidslerne dække 20% af jordoverfladen for at reducere udbyttet med 3%, hvilket er langt mindre end i tidligere undersøgelser. Projektets overordnede konklusion er, at det er teknisk muligt at pletsprøjte tidsler på grundlag af dronefotos, og at udarbejdelsen af tildelingskort kan gøres på nogle få minutter pr. ha. Pletsprøjtning på grundlag af dronefotos forekommer derfor at være et fremtidigt realistisk alternativ til fladesprøjtning. En økonomisk overslagsberegning viser, at der i mange tilfælde vil kunne opnås en positiv økonomisk gevinst ved pletsprøjtning baseret på dronefotos.

3. Summary and conclusion

This project is a continuation of an earlier project supported by the Danish Environmental Protection Agency focusing on weed mapping based on drone imagery (*Droner til monitoring af flerårigt ukrudt i korn* (J.nr. 667-00138)). The main objective was to demonstrate and evaluate patch spraying of *Cirsium arvense* based on pre-harvest weed mapping in cereals. Other objectives were to improve the weed detection and to develop a fast and cost-effective method to assess the competitive ability of *C. arvense* in cereals. Weed mapping based on drone imagery was carried out without any significant problems. Small user-friendly drones with RGB cameras were used for image acquisition and the in-house programme Thistle Tool was used for the detection of *C. arvense*. It took about 2 minutes per hectare to capture the images and less than 1 minute per hectare to perform the image analysis. Application maps had a high detection accuracy and a high spatial accuracy. The detection accuracy was about 95% and about 95% of the detected area with *C. arvense* was correctly sprayed with sprayers with 3 m boom sections. A sprayer with 0.5 m boom sections had capacity problems because the sprayer terminal was not fast enough for timely opening of the nozzles. The project revealed serious problems with file formats and lack of standards in relation to sprayer terminals. It was not trivial to produce application maps in the format that could be exported to different sprayer terminals. In some experiments, it was simply not possible to convert shape-files to the correct format of ISOXML. Results showed that a number of different approaches to image analysis all are useful for the detection of *C. arvense*. A new algorithm, Weeddetect, was developed showing better performance in spring barley than Thistle Tool. Weeddetect, however, was not used in the patch spraying experiments because it still needs improvements to be able to analyze large amounts of image data in a fast and reliable way. A new method was developed to assess the competitive ability of *C. arvense* in farm studies. The method is based on drone imagery and is cost-effective compared to methods based on shoot density and biomass assessment used in previous studies. The competitive ability of *C. arvense* was much lower than reported in earlier studies. The average yield loss in spring barley was 3% corresponding to 20% *C. arvense* ground cover. The overall conclusion is that patch spraying based on drone imagery is technically feasible and has the potential to be developed into a cost-effective weed control method.

4. Indledning

4.1 Baggrund

Projektet er udført i forlængelse af Miljøstyrelsesprojektet, *Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn* (2013-2015) (J.nr. 667-00138) (Rasmussen *et al.*, 2016a), hvor det blev vist, at droner kan anvendes til at kortlægge tidsler i korn før høst. I et sideløbende projekt, *OptiMek*, støttet af GUDP, Landbrugsstyrelsen, blev billedanalysen gjort hurtig og brugervenlig, således at billedanalysen af en mark på 5-10 ha kan gennemføres på nogle få minutter med et billedanalyseværktøj kaldet Thistle Tool (Rasmussen *et al.*, 2018b).

Baseret på de positive erfaringer med kortlægning af tidsler, forekom det oplagt at tage skridtet "ud i virkeligheden", for at afprøve hele konceptet "fra dronefoto til pletsprøjtning". Hovedformålet med nærværende projekt er derfor at undersøge, om det kan lade sig gøre at pletsprøjte tidsler med den fornødne præcision med almindelige marksprøjter på grundlag af dronefotos. Det har ikke været muligt at finde tidligere studier, hvor hele kæden af arbejdsopgaver fra kortlægning med droner til pletsprøjtning med marksprøjter er dokumenteret og vurderet.

Inden man går i gang med kortlægning og pletsprøjtning, er det relevant at spørge, hvornår det overhovedet giver mening. Findes der eksempelvis kun 1 tidsel pr. ha, giver det ikke mening at kortlægge og pletsprøjte, ligesom det heller ikke giver mening, hvis en mark er så massivt inficeret, at der er tidsler overalt. I det første tilfælde vil det ikke kunne betale sig at sprøjte, og i det andet tilfælde vil det ikke kunne betale sig at pletsprøjte, da herbicidbesparelsen ikke vil kunne opveje udgifterne til kortlægning.

For at kunne besvare, hvornår det vil være økonomisk rentabelt at bekæmpe tidsler – eller hvornår det får økonomisk betydning at fejlbestemme tidsler i kortlægningen, er det nødvendigt at kende tidslernes udbyttmæssige betydning. Litteraturen på dette område er gammel og sparsom (Petersen, 1944, O'Sullivan *et al.*, 1982, Donald & Kahn, 1996) eller vanskelig at anvende i en praktisk sammenhæng. Graglia *et al.*, (2006) opgjorde således tidselforekomsten ved dens produktion af biomasse, hvilket er en særdeles arbejdskrævende metode, som er vanskelig at anvende på markniveau. Der er derfor behov for nye undersøgelser af tidslers udbyttmæssige betydning, og der er behov for nye ressourceeffektive metoder til at bestemme tidselforekomster på, som kan anvendes på markniveau.

Den metode til detektering af tidsler som blev udviklet i *Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn* har givet gode resultater (Rasmussen *et al.*, 2016a, Rasmussen *et al.*, 2018), selvom den har visse svagheder. Metoden er for det første kun semi-automatisk, hvilket betyder, at en bruger skal justere en tærskelværdi, for at få et optimalt resultat; og for det andet giver metoden forholdsvis lav nøjagtighed, hvis kornet ikke er helt modent, eller der er grønsrud, hvilket har vist sig at være et problem i vårbyg. Der er derfor behov for at automatisere og videreudvikle billedanalysen.

4.2 Formål

1. At forbedre billedanalysen således at den kan gøres fuldautomatisk og detekteringsnøjagtigheden kan forbedres i forhold til Thistle Tool.
2. At udvikle en hurtig metode til at bestemme forekomsten af tidsler på markniveau samt at bestemme tidslers udbyttmæssige betydning.

3. At afprøve og evaluere konceptet "Fra dronefotos til pletsprøjtning" under praktiske forhold med anvendelse af almindelige marksprøjter.

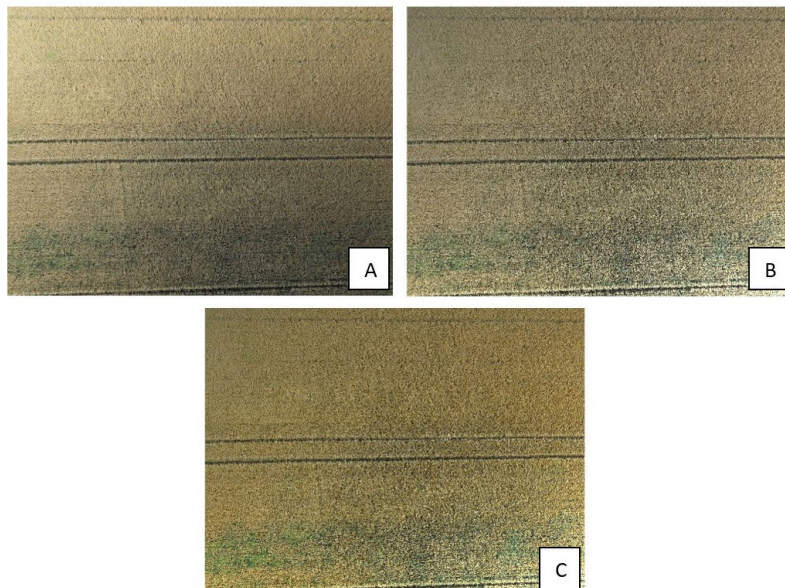
5. Forbedring af billedanalysen

5.1 Weeddetect

Den oprindelige udgave af Thistle Tool, som blev udviklet i *Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn* (Rasmussen et al., 2016a), var baseret på analyse af enkeltbilleder og ikke orto-mosaikker (sammensatte billeder hvor alle punkter ses lige ovenfra). Dette var ud fra et ønske om at undgå de billedforringelser, som er knyttet til dannelsen af orto-mosaikker, hvor billederne korrigeres på forskellig vis. Den videreudvikling af billedanalysen, som er foretaget i dette projekt, er ligeledes foretaget på enkeltbilleder.

Arbejdet har været koncentreret om at 1) justere billederne for skrå belysning, 2) forstærke farveforskellen mellem tidsler og korn, 3) udvikle en metode, hvor den tærskelværdi som adskiller tidsler og korn (segmentering) bestemmes automatisk og endelig 4) fjerne "grøn støj" fra billederne, som kan komme fra umodent korn, grønskud og ukrudt i bunden af afgrøden. Ændringerne i forhold til Thistle Tool har været så omfattende, at det blev besluttet at give det nye program et selvstændigt navn: Weeddetect.

Først blev der taget fat på at justere for den skrå belysning af billederne, som kan forekomme, når solen skinner fra en forholdsvis lav vinkel over horisonten (Rasmussen et al., 2016b). Den del af billedet som vender i retningen mod solen blive mørk. I figur 1 er vist et eksempel på anvendelse af en algoritme, som udjævner belysningen og justerer farverne, så tidslerne står tydeligere frem.

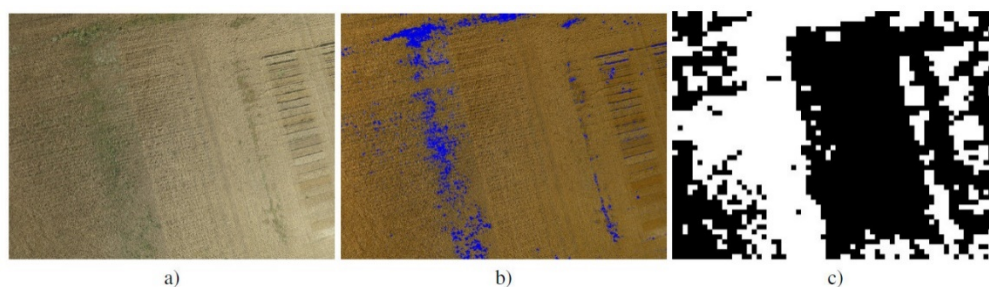


FIGUR 1. Korrektion af betragtningsvinkel og farver. A: originalt billede hvor der ses en lysgradient i billedet fordi solen stod lavt på himlen, B: korrektion af skrå belysning og C: farvemætning så tidslerne træder tydeligere frem (efter Olsen et al. 2017).

Efter de indledende billedkorrektioner (figur 1), foretages selve detektionen af tidslerne. Først konverteres billedet til et gråskalabillede ved hjælp af et nyt vegetationsindeks som statistisk set adskiller korn fra ukrudt på en optimal måde. Dernæst analyseres billedets histogram, idet

det antages, at de pixels som afbilder kornet er normalfordelt. Det er således afvigelsen fra en normalfordeling, som udgør grundlaget for adskillelse af gule og grønne pixels (segmenteringen). På dette grundlag bestemmes en tærskelværdi matematisk, og segmenteringen bliver derved automatisk, da den ikke kræver nogen manuel justering.

Efter segmenteringen fjernes isolerede grønne pixels samt meget små grønne objekter, som antages ikke at være tidsler. Derefter binariseres billedet i kvadrater på 1 m² ud fra en tærskelværdi, som afgør den nedre detektionsgrænse (figur 2). Denne tærskelværdi sættes manuelt ud fra agronomiske hensyn, da den er et udtryk for, hvor meget grønt man vil acceptere, før et kvadrat skal kategoriseres som et kvadrat med tidsler.



FIGUR 2. Detektering af tidsler. a) originalt billede, b) lys og farvekorrigeret billede med angivelse af pixels bestemt som værende grønne (angivet med blå farve) og c) binært billede som angiver kvadrater, hvor der forekommer tidsler (hvid).

Weeddetect har først og fremmest vist sig at være Thistle Tool overlegen i vårbyg, hvis afgrøden ikke var helt moden, eller der forekom grønskud (tabel 1). Fordelen tillægges filtreringen af små grønne objekter. Weeddetect er dokumenteret i Olsen et al. (2017). Ved beregning af accuracy (table 1), er der anvendt 1000 felter pr. beregning, og der har tilnærmelsesvis været lige mange felter med tidsler og korn. Falske positive (korn klassificeret som tidsler) og falske negative (tidsler klassificeret som korn) er vægtet lige.

TABEL 1. Sammenligning af Weeddetect og Thistle Tool. Accuracy angiver andelen af korrekt klassificerede felter (tidsler + korn). Accuracy angiver hvor stor en del af de klassificerede felter, der er korrekt klassificeret.

Analyseprogram	Afgrøde	Korrekt klassificeret tidsler	Korrekt klassificeret korn	Accuracy
Weeddetect	Vinterhvede	96,1%	95,0%	95,3%
	Vårbyg	88,7%	94,5%	91,4%
Thistle Tool	Vinterhvede	94,0%	98,2%	96,3%
	Vårbyg	87,2%	72,4%	82,3%

Efter at Weeddetect var blevet publiceret (Olsen et al., 2017), blev det afprøvet på billeder, som ikke var indgået i arbejdet med at udvikle programmet, og det viste sig, at programmet ikke i alle tilfælde kunne finde en optimal tærskelværdi og dermed foretage en optimal segmentering. Det var således ikke lykkedes at lave et fuldautomatisk program, og det ville kræve en større arbejdsindsats at indarbejde Weeddetect i en brugergrænseflade, som dels ville gøre det muligt at justere en tærskelværdien manuelt, og dels ville gøre det muligt at analysere orto-mosaikker i stedet for enkeltbilleder. Weeddetect blev derfor ikke anvendt til at kortlægge tidsler i projektets sidste del, hvor hele konceptet "fra dronefoto til pletsprøjtning" blev afprøvet. Her var det nødvendigt at billedanalysen forløb hurtigt og problemfrit, da der kun var ganske kort tid til at foretage den. Det var målsætningen, at der højst måtte gå 24 timer

fra overflyvning af en mark til levering af et tildelingskort. For at kunne leve op til denne målsætning, var det nødvendigt at anvende Thistle Tool, som dels har en brugergrænseflade, som gør det nemt at justere tærskelværdien, og dels kan analysere orto-mosaikker.

Når billedanalysen er valgt foretaget på orto-mosaikker i projektets sidste del, på trods af en billedforringelse, er det fordi det er hurtigere, og fordi det er nødvendigt af hensyn til den geografiske (GPS) nøjagtighed. Orto-mosaikker er nemlig forsynet med større geografisk nøjagtighed end enkeltbilleder. Ønsker man at producere målfaste kort, er det på nuværende tidspunkt forbundet med store problemer at anvende enkeltbilleder i billedanalysen, da det er vanskeligt at lokalisere de enkelte billedernes positioner lige så præcist som orto-mosaikkers. Rasmussen et al. (2018b) har vist, at detektionen af tidsler falder med 0 til 2 procentpoint ved at anvende orto-mosaikker i stedet for enkeltbilleder, og Azim et al. (2019) har vist, at orto-mosaikker kan fremstilles med en geografisk nøjagtighed på under 10 cm.

5.2 Andre analysemetoder

I projektet *Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn* blev der indsamlet og annoteret (angivet hvor tidslerne var på billederne) et meget stort antal billeder i arbejdet med at udvikle Thistle Tool. De annoterede billeder har påkaldt sig stor international interesse, og en del forskere har fået annoterede billeder stillet til rådighed, for at kunne udvikle nye metoder til detektion af tidsler. I dette afsnit vil kun de 3 arbejder blive omtalt, som har resulteret i publikationer.

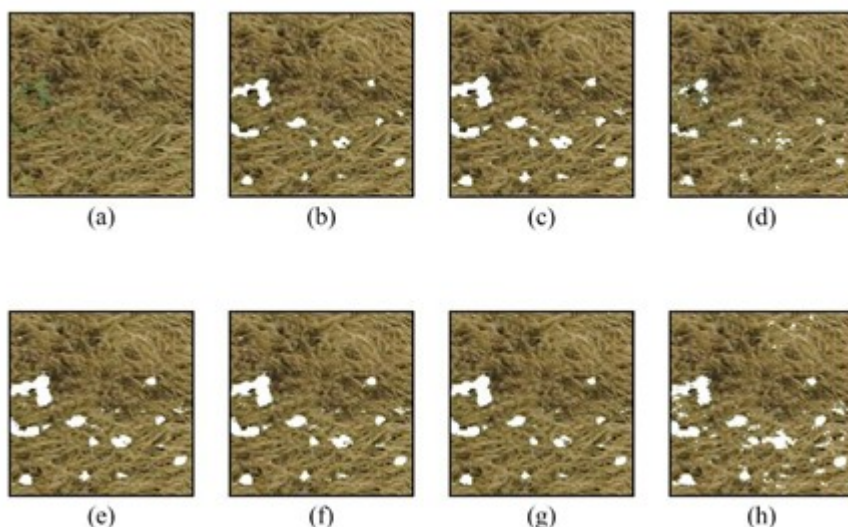
Sørensen et al. (2017) anvendte deep learning (CNN) til at detektere tidsler og opnåede lovende resultater (tabel 2). Deep learning er blevet en meget populær metode til billedanalyse, fordi der er opnået overraskende gode resultater med hensyn til objektgenkendelse. Deep learning kræver træning. Jo mere, jo bedre, og det er her, at det store billedmateriale fra *Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn* kommer ind i billedet. Ved at træne på billeder fra både vinterhvede og vårbyg kunne programmet bestemme tidsler på tværs af de to afgrøder, hvilket Thistle Tool ikke kan. Når deep learning programmet er trænet, virker det fuldautomatisk, da det ikke er muligt at justere parametre. Som det fremgår i tabel 2, var deep learning tydeligt bedre i vårbyg, hvor Thistle Tool havde problemer på grund af grønskud og uensartet modenhed.

TABEL 2. Sammenligning af analyseresultater med Thistle Tool og deep learning ved to forskellige flyvehøjder i henhold til Sørensen et al. (2017). "Begge" angiver at deep learning har analyseret billeder fra både vinterhvede og vårbyg på én gang. Accuracy angiver hvor stor en del af de klassificerede felter, der er korrekt klassificeret.

Flyvehøjde	Afgrøde	Thistle Tool Accuracy	Deep learning accuracy
10 m	Vinterhvede	95%	97%
	Vårbyg	81%	94%
	Begge	-	95%
50 m	Vinterhvede	96%	98%
	Vårbyg	82%	96%
	Begge	-	97%

Forero et al. (2019) sammenlignede en simpel farvebaseret analysemetode baseret på et såkaldt "extreme green" indeks med 6 forskellige machine learning metoder. Resultaterne viste, at den simple indeksbaserede metode gav samme eller bedre detektion end machine learning (figur 3). Ved at anvende en simpel metode baseret på farve segmentering af pixels

(extreme green), blev der opnået 99,3% accuracy, hvor de øvrige metoder lå nogle få procentpoint lavere. Som det fremgår af figur 3, er der stor overensstemmelse mellem de forskellige metoder.



FIGUR 3. Resultater af forskellige billedanalysemetoder, hvor en simpel farvebaseret metode (extreme green) er sammenlignet med 6 forskellige machine learning metoder. (a) originalt billede, (b) billedanalyse baseret på farveindeks, (c til h): machine learning Metoderne er: (c) Gaussian naive Bayes, (d) stochastic gradient descent, (e) decision trees, (f) nearest neighbors, (g) support vector machines, og (h) neural network. De hvide områder angiver hvor analysemetoden har detekteret tidsler. Efter Forero et al. (2019).

Franco et al. (2018) anvendte to former for machine learning og opnåede 98% accuracy med en pixel baseret metode. En objekt og en pixel baseret metode blev sammenlignet, og der blev opnået de bedste resultater med den pixelbaserede metode.

5.3 Diskussion og konklusion

Det er vist, at der kan opnås gode resultater med mange forskellige billedanalysemetoder. Fælles for dem alle er dog, at resultatet aldrig bliver bedre end de annoteringer, som ligger til grund for analyserne. Især under udarbejdelsen af analyserne med deep learning (Sørensen et al., 2018), blev det afsløret, at der var fejl i annoteringerne, og at en del annoteringer var diskutabile. I en del tilfælde var det svært at afgøre, om der var "grønt nok" i annoteringsfeltet, til at det skulle klassificeres som tidsler (Rasmussen et al., 2018).

I Weededetect (Olsen et al., 2017) filtreres enkeltstående eller meget små grupper af grønne pixels fra, hvilket har forbedret detektionen i forhold til Thistle Tool, som især kan give dårlige resultater i vårbyg, hvis afgrøden ikke er helt moden, eller der er grønskud eller andet grønt ukrudt i afgrøden. I Sørensen et al. (2017) blev det forsøgt at anvende tre kategorier: 1) korn uden grønt ukrudt, 2) korn med tidsler og 3) korn med anden grøn vegetation end tidsler. Det annoterede billedmateriale var dog ikke ret stort, og det viste sig, at der også var behov for en 4. kategori: korn med tidsler og andet grønt ukrudt. Resultaterne var ikke specielt lovende.

En af de største udfordringer som er knyttet til vurdering af billedanalyseprogrammer er valideringen. Er metoderne robuste i forhold til andre billeddata end dem, de er udviklet på? Ofte er det et ganske lille billedmateriale, som ligger til grund for de udviklede analysemetoder, og når de skal stå deres prøve i "andre miljøer", kan det være at de fejler. Franco et al. (2018) og Forero et al. (2019) anvendte således henholdsvis 28 og 26 billeder i deres arbejde, hvilket udfordrer de konklusioner, som drages i artiklerne. Den spinkle validering er problematisk i et

anvendelsesorienteret perspektiv, da det her er helt afgørende, at fuldautomatiske metoder virker på et bredt udsnit af billeddata. Anvender man en fuldautomatisk billedanalysemetode, som ikke giver tilfredsstillende analyseresultater, har man et problem. Eksempelvis blev det vist, at det neurale netværk udviklet af Sørensen et al. (2017), ikke fungerede tilfredsstillende på helt nye billeder, som stammede fra fotoserier, som ikke var indgået i træningen.

Det kræver en stor arbejdsindsats og en solid valideringsproces at få fuldautomatiske algoritmer til at af fungere i en anvendelsesorienteret sammenhæng, og et sådant arbejde ligger sjældent til grund for de metoder som publiceres. Det er derfor ikke uden grund at Lobet (2017) har publiceret et review om billedanalyse med titlen: *Image analysis in plant sciences: Publish then perish*. Her dokumenteres det, at mange programmer ikke når længere end til publiceringen, selvom de har et anvendelsesorienteret mål.

Metoder som kræver brugerinteraktion i form af justering af en eller flere parametre er generelt langt mere robuste, og det er forholdsvis nemt at erfare sig til, hvor programmets begrænsninger ligger. Thistle Tool har således vist sig særdeles robust i moden vinterhvede og mindre robust i vårbyg, da vårbyg ofte modner mere uensartet end vinterhvede, hvilket er udslagsgivende for et program, som ene og alene arbejder med farvesegmentering.

Foruden robusthed er tidsforbrug også vigtigt, når billedanalyse skal anvendes i en praktisk sammenhæng. Med hensyn til tidsforbrug spiller to forhold ind: 1) computertid og 2) brugervenlighed. I projektet *Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn*, blev det eksempelvis opgivet at arbejde med texturanalyse, da det krævede alt for meget computertid (Egilsson, 2014; Rasmussen et al., 2016a). Forero et al. (2019) brugte cirka 40 gange længere computertid til machine learning end til en klassisk billedanalysemetode baseret på farvesegmentering. Brugervenlighed og automatisering er ligeledes altafgørende for tidsforbruget, og her har det foreløbig vist sig meget hurtigere at anvende orto-mosaikker end enkeltbilleder i analysearbejdet.

Alt i alt kan det konkluderes, at Thistle Tool er et udmærket bud på et værktøj, som kan anvendes i en praktisk sammenhæng, men at det med fordel kan forsynes med nogle af de funktionaliteter som findes i Weededetect. Her tænkes især på eliminering af mindre grønne objekter og en anden farverepræsentation i segmenteringsprocessen. Metoder baseret på neurale net, såsom deep learning, anses for at have store potentialer, men det kræver en stor og målrettet indsats at træne metoderne.

6. Tidslers udbyttmæssige betydning - konkurrenceforsøg

6.1 Forsøgene

For at bestemme tidslers udbyttmæssige betydning, blev der i 2016 og 2017 gennemført 8 markforsøg på Sjælland og Falster (tabel 3). Forsøgene blev udført i vårbyg, og hver mark blev udvalgt på grundlag af tidselforekomst og mulighed for at få høstet parceller med en forsøgsmejetærsker. Der var 5 konventionelt dyrkede marker og 3 økologisk dyrkede (tabel 3). I alle marker udgjorde tidsler den absolut dominerende ukrudtsart med hensyn til at overvokse afgrøden før høst (figur 4), hvilket gør det rimeligt at antage, at tidslerne var den dominerende konkurrenceparameter i forsøgene. Der blev anvendt så store parceller, at de kunne høstes med en forsøgsmejetærsker. Parcellerne var fra 15 til 48 m² og der var fra 10 til 40 parceller i hvert forsøg (tabel 3). Parcellerne blev markeret umiddelbart før høst, så de repræsenterede den størst mulige variation i tidselforekomst i hver mark. Parcellerne lå enten ved siden af hinanden eller i forlængelse af hinanden. Når de lå ved siden af hinanden, var de frihøstet i begge ender før høst, og når de lå i forlængelse af hinanden, var de ikke frihøstet (figur 5). Længden af de parceller som lå i forlængelse af hinanden var markeret med landmålerstokke og blå plastikstykker, som var synlige fra luften. Der blev høstet fuldt skår ved begge metoder. Der var stor variation i udbyttniveauet mellem markerne som angivet i tabel 3. Udbyttniveauet i forsøget "Nr. Alslev" var udsædvanligt lavt på grund af sen såning og anvendelse af lav udsædsmængde af hensyn til et frøgræsudlæg. Høstudbytterne er korrigeret til et vandindhold på 15%. I 2016 blev der bestemt vandindhold i alle parceller, hvorimod der kun blevet taget en fælles prøve i hvert forsøg i 2017. Det var derfor kun muligt at bestemme hvordan kærernes vandindhold blev påvirket af tidselforekomsten i 2016.

TABEL 3. Oversigt over konkurrenceforsøg i vårbyg.

Marknavn	År	Dyrknings-System	Antal parceller	Parcelstørrelse (m ²)	Udbytte-gennemsnit (kg/ha)
Nr. Alslev	2016	Konventionel	40	36	2987
Haraldsted	2016	Konventionel	25	48	6750
Højbakkegård	2016	Konventionel	25	15	6770
Snubbekorsgård 1	2016	Økologisk	10	15	4093
Snubbekorsgård 2	2016	Økologisk	10	15	4479
Bakkegården	2017	Økologisk	24	15	3036
Snubbekorsgård 1	2017	Konventionel	20	15	6931
Snubbekorsgård 2	2017	Konventionel	20	15	5992



FIGUR 4. Eksempel på mark anvendt til konkurrenceforsøg, hvor tidsler udgør den dominerende ukrudtsart (Haraldsted 2016).



FIGUR 5. Høst af forsøgsparceller. Til venstre: parcellernes længde afgrænset ved frihøst efter sprøjtespor (Haraldsted 2016). Til højre: parcellernes længde markeret med landmålerstokke i kørselsretningen før høst og blå plastikstykker, som var synlige fra luften både før og efter høst (Nr. Alslev 2016). På indsat billede ses længedemarkeringen før høst (blå plastikstykker). I begge tilfælde blev der høstet fuldt skår.

6.2 Bestemmelse af tidsselforekomst

Den mest almindelige måde at bestemme tidsselforekomst på er at tælle tidselskuddene. Dette er dog uforeneligt med ønsket om en hurtig og praksisnær metode, som kan anvendes på markniveau og i parceller, som er så store, at de kan høstes med en mejetærsker. Tidsselforekomsten blev registreret på forskellige måder, for at finde en hurtig og reproducerbar metode. Ikke alle metoder blev gennemført i alle forsøg (tabel 4).

To metoder blev konsekvent anvendt i alle forsøg. Begge metoder anvender dronebilleder, hvor tidslernes dækningsgrad bestemmes ovenfra. I den ene metode gives der karakter for tidseldækning, og i den anden metode markeres områder med mere end 70% tidseldækning i et billedredigeringsprogram med rektangler. Herefter bestemmes de markerede områders procentuelle andel af det samlede areal ved hjælp af en simpel billedanalysemetode. I tabel 4 er alle anvendte metoder beskrevet. Anvendelsen af det fuldautomatiske billedanalyseprogram Imaging Crop Response Analyser (<http://imaging-crops.dk>) (Rasmussen et al., 2007) blev kun anvendt hvor farveforskellen mellem tidsler og afgrøde var stor nok til, at programmet gav troværdige resultater (vurderet visuelt). Programmet er udviklet til at bestemme plantedække med jord som baggrund.

TABEL 4. Oversigt over de anvendte metoder til bestemmelse af tidsselforekomst

Opgørelses-metode	Beskrivelse
Karakter billede	Visuel bedømmelse af dækningsgrad (0 – 100%) baseret på dronebilleder. Alle bedømmelser er foretaget af samme person.
Karakter mark	Visuel bedømmelse af dækningsgrad (0 – 100%) foretaget på jorden eller fra mejetærsker. Bedømmelser er foretaget af forskellige personer.
Billedanalyse manuel	Rektangulære områder hvor tidslernes dækningsgrad er større end 70% markeres med et billedredigeringsværktøj og områdernes procentuelle areal bestemmes ved hjælp af et semiautomatisk billedanalyseprogram.
Billedanalyse automatisk	Det fuldautomatiske program, Imaging Crop Response Analyser (http://imaging-crops.dk), anvendes til bestemmelse af dækningsgraden.
Antal skud pr. m ²	Antal tidselskud over afgrøden tælles i hele parcellen.

De dronebilleder som blev anvendt til at bestemme tidsler blev taget i cirka 20 m højde med en drone med farvekamera (Phantom 3 eller 4). Billedopløseligheden var cirka 8,5 mm/pixel, hvilket gjorde det helt uproblematisk at identificere tidsler på billederne. I nogle forsøg blev billederne sat sammen til orto-mosaikker inden analyse, mens de i andre blev analyseret enkeltvis. Om der blev anvendt orto-mosaikker eller enkeltbilleder havde ingen betydning for resultaterne.

Parcellerne på billederne blev identificeret med et minimum af arbejde i marken. I de forsøg hvor parcellerne blev frihøstet (figur 5), blev der ikke foretaget nogen afmærkning af parcellerne i marken, hvorimod parcellængden blev markeret med blå plastikmarkeringer i de forsøg, hvor parcellerne lå i forlængelse af hinanden. Plastikmarkeringerne var lette at identificere på billederne (figur 5 og 6).

Til trods for den sparsomme markering, kunne parcellerne klippes præcist ud, således at høstparcellen dækkede præcis det område, som tidslerne blev registreret på. Den anvendte metode forudsætter, at der tages billeder før og efter høst af parcellerne, og at der rådes over et program, som kan tilrette (aligne) lag af billeder, så der er rumlig overensstemmelse mellem

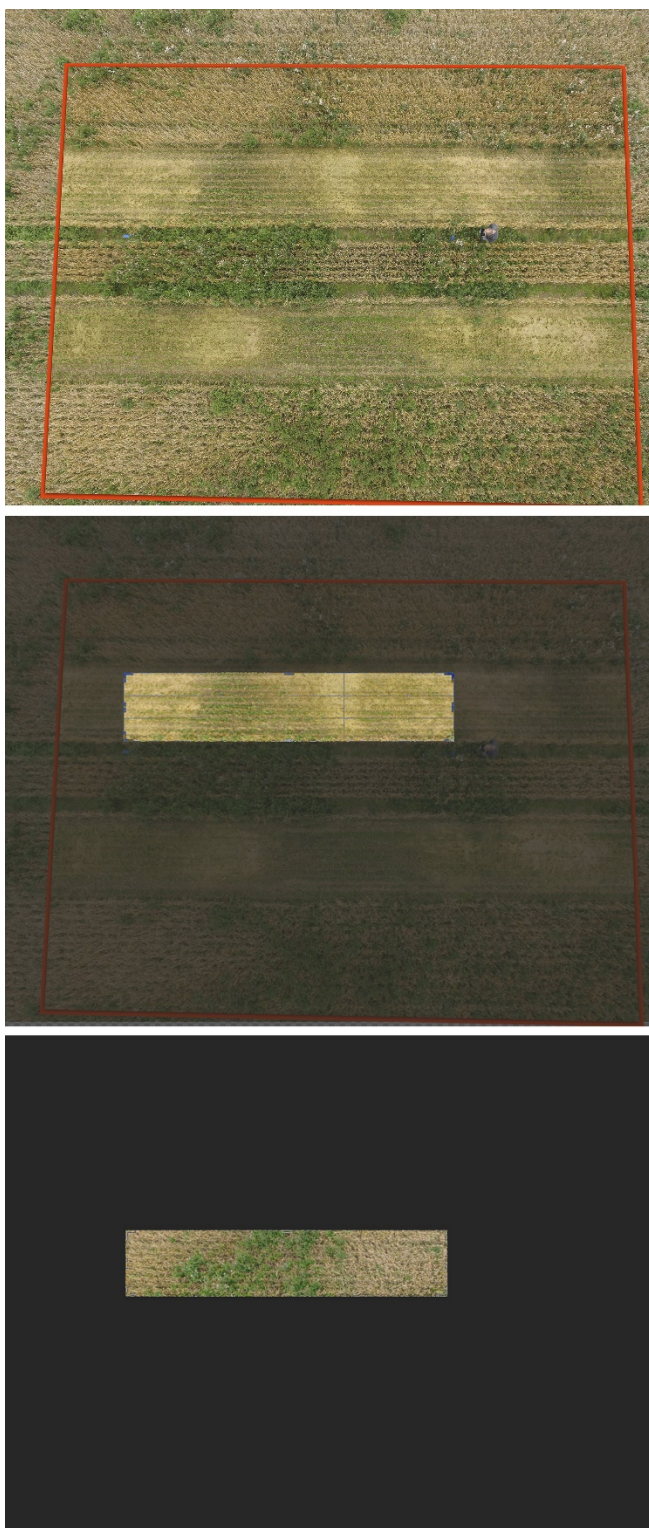
lagene. Proceduren er illustreret i figur 6 og i en YouTube video:

<https://youtu.be/f2nm2o0Lz2g>. Photoshop blev anvendt, da dette program har en nøjagtig alignment funktion.



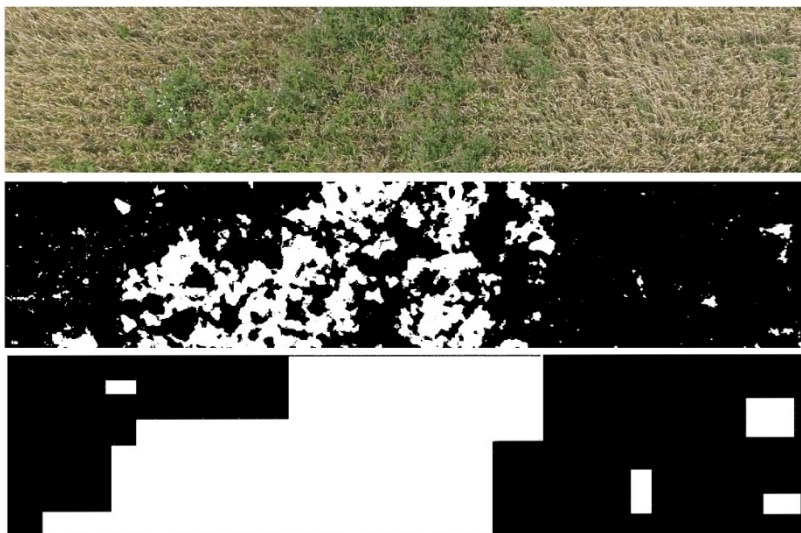
FIGUR 6. Billeder af en parcel taget før (øverst) og efter (nederst) høst. Pilene viser de blå afmærkningsflader, som angiver parcellernes længde (10 m) (Nr. Alslev 2016).

Udklipning af parceller foregik på følgende måde: billederne efter høst blev lagt oven på billederne før høst, og de blev alignet) så de dækkede præcis det samme areal. På figur 7 ses et efter-høst billede lagt oven på et før-høst billede. Efter-høst billedet er markeret med rød kant. Efter alignment er det ikke længere rektangulært, hvilket skyldes en mindre afvigelse i kameravinklerne mellem de to billeder. Høstparcellen markeres på efter-høst billedet, hvor parcelstørrelsen er tydelig, men parcellen klippes ud i det underliggende lag, før-høst billedet, med synlige tidsler. Herved er den udklippede parcel med tidsler helt identisk med høstparcellen.



FIGUR 7. Illustration af udklipning af parceller således at der er fuld overensstemmelse mellem høstparcel og den parcel, hvor tidslernes dækning analyseres. Øverst: Efter-høst billede (rød markering) tilpasset laget med før-høst billedet. Midterst: Høstparcel markeret på efter-høst lag. Nederst: Høstparcel klippet i før-høst laget på grundlag af markeringer i efter-høst laget. Se tekst for yderlige beskrivelse eller videoen: <https://youtu.be/f2nm2o0Lz2g>.

De to anvendte billedanalysemetoder, den manuelle (billedanalyse manuel) og den fuldautomatiske (billedanalyse automatisk) er illustreret i figur 8, hvor tidslernes dækningsgrad er præsenteret på binære billeder.



FIGUR 8. Parcel med tidsler analyseret og præsenteret binært efter henholdsvis fuldautomatisk billedanalyse (billedanalyse automatisk) og manuel billedanalyse (billedanalyse manuel). Hvide områder er arealer med tidsler. Billedanalyse automatisk (midterste billede) har beregnet, at tidsler dækker 20% af arealet. Billedanalyse manuel (nederste billede) har beregnet, at tidsler dækker 47% af arealet. Den visuelle bedømmelse af billedet (karakter billede) angav at tidsler dækkede 45%. Dækningsgraden af tidsler blev bedømt til 15 % i marken (karakter mark).

6.3 Statistiske analyser

Der blev anvendt korrelationsanalyse og Pearsons korrelationskoefficienter er beregnet. Der er anvendt regressionsanalyser til at teste om udbytte og det høstede korns vandprocent blev påvirket af tidsforekomsten, og om påvirkningen varierede mellem forsøgene (vekselvirkninger). Der er desuden anvendt en mixed regressionsmodel med forsøg som tilfældig variabel, til at beskrive de generelle sammenhænge mellem udbytte og tidsforekomst samt vandprocent og tidsforekomst. Udbyttet blev logaritme-transformeret i modellen med forsøg som tilfældig variabel for at stabilisere variansen. Den regressionsparameter som beskriver sammenhængen mellem det logaritme-transformerede udbytte og tidsforekomsten kaldes konkurrenceparameteren.

$$Y = a + b \cdot x$$

Ligning 1

hvor Y er det logaritmerede udbytte, a regressionslinjens skæring med Y -aksen og b er linjens hældning (konkurrenceparameteren) og x er tidsforekomsten.

Konkurrenceparameteren kan anvendes til at beregne udbyttereduktionen som funktion af tidsforekomsten:

$$T = 100(1 - \exp(b \cdot x))$$

Ligning 2

Hvor T er det procentuelle udbyttetab og x er tidsforekomsten.

6.4 Resultater

Der var stor forskel mellem de 8 markers forekomster af tidsler, og der var stor forskel på de forskellige metoders vurderinger af dækningsgrad (tabel 5). For at give en nærmere beskrivelse af tidsforekomsterne i de forskellige forsøg, er standardafvigelsen og minimum- og maksimumværdier angivet for tidseldækning bestemt ved billedanalyse manuel vist i tabel 6.

Af tabel 5 fremgår det, at der var ringe overensstemmelse mellem de dækningsgrader, som blev bestemt på jorden (karakter mark) og de ikke-automatiske metoder baseret på dronebilleder (karakter billede og billedanalyse manuel). Denne forskel kan skyldes to ting: 1) Det var forskellige personer som gav karakterer i marken, og 2) dækningsgrader baseret på dronebilleder medtager tidsler som står nede i afgrøden. Dette er ikke tilfældet med bedømmelserne i marken, som først og fremmest medtager de tidsler, som overvokser afgrøden.

Billedanalyse automatisk gav lavere dækningsgrader end de øvrige metoder baseret på dronebilleder. Det skyldes, at kun selve tidslernes dækning medgår i analysen. De to andre metoder medtager områder hvor tidslerne dækker mindst 70% af arealet.

Korrelationskoefficienten som beskriver sammenhængen mellem karakter billede og billedanalyse manuel på tværs af forsøgene var 0,89, og en regressionsanalyse viste, at hældningen ikke var signifikant forskellige fra 1. Der var altså god overensstemmelse mellem de to ikke-automatiske metoder baseret på dronebilleder.

TABEL 5. Forekomst af tidsler (procent dækning og antal skud pr. m²) opgjort på forskellig måde i henhold til metodebeskrivelsen i tabel 4.

Marknavn	År	Karakter billede	Karakter mark	Billedanalyse manuel	Billedanalyse automatisk	Antal skud pr m ²
Nr. Alslev	2016	34,1	12,9	37,2	15,2	
Haraldsted	2016	16,5	18,1	22,0	9,9	
Højbakkegård	2016	3,2	6,5	5,5	1,1	0,59
Snubbekorsgård 1	2016	22,0		28,1		
Snubbekorsgård 2	2016	43,0		45,7		
Bakkegården	2017	2,8		4,9		0,40
Snubbekorsgård 1	2017	2,7		2,1		0,42
Snubbekorsgård 2	2017	11,3	20,3	7,1	2,3	

TABEL 6. Beskrivelse af variationen af tidsforekomsterne i de 8 forsøg. Alle angivelser er procent tidsdækning.

Marknavn	År	Billedanalyse manuel	Spredning	Minimum – maksimum dækning
Nr. Alslev	2016	37,2	20,2	7,1 – 85,0
Haraldsted	2016	22,0	14,8	0,2 - 57,1
Højbakkegård	2016	5,5	4,8	0,1 – 15,8
Snubbekorsgård 1	2016	28,1	19,0	8,0 – 60,0
Snubbekorsgård 2	2016	45,7	13,9	18,8 – 64,9
Bakkegården	2017	4,9	7,4	0 - 25,0
Snubbekorsgård 1	2017	2,1	2,8	0 – 9,9
Snubbekorsgård 2	2017	7,1	8,3	0 – 28,3

I tabel 7 til 14 er korrelationskoefficienterne som beskriver sammenhængen mellem de forskellige metoder til kvantificering af tidsforekomsterne præsenteret for hver lokalitet. Det fremgår, at alle korrelationskoefficienter er meget høje (ofte over 0,9) og signifikante på 1 promille niveau. Sammenholdt med resultaterne i tabel 6, viser resultaterne, at det er af mindre betydning, hvilken metode, der anvendes, hvis formålet alene er at beskrive variationen i tidsforekomst inden for et forsøg, men ønsker man absolutte mål, som kan sammenlignes på tværs af forsøg, er billedanalyse manuel og karakter billede at foretrække. Det anses dog for overvejende sandsynligt, at billedanalyse manuel er mere objektiv end karakter billede, da karakterbillede beror på en helhedsvurdering af hele parceller, hvorimod billedanalyse manuel beror på en bruger, som markerer tidsler med rektangler.

TABEL 7. Korrelationskoefficienter som beskriver sammenhængen mellem forskellige metoder til kvantificering af tidsforekomst i parceller. Metoder beskrevet i tabel 4. Marknavn: Nr. Alslev. År: 2016. *** ($P < 0,001$).

	Karakter Billede	Karakter Mark	Billedanalyse manuel	Billedanalyse automatisk
Karakter billede	1	0,78***	0,93***	0,89***
Karakter mark		1	0,80***	0,87***
Billedanalyse manuel			1	0,81***
Billedanalyse automatisk				1

TABEL 8. Korrelationskoefficienter som beskriver sammenhængen mellem forskellige metoder til kvantificering af tidselforekomst i parceller. Metoder beskrevet i tabel 4. Marknavn: Haraldsted. År: 2016. *** ($P < 0,001$).

	Karakter billede	Karakter Mark	Billedanalyse manuel	Billedanalyse automatisk
Karakter billede	1	0,92***	0,90***	0,87***
Karakter mark		1	0,95***	0,90***
Billedanalyse manuel			1	0,91***
Billedanalyse automatisk				1

TABEL 9. Korrelationskoefficienter som beskriver sammenhængen mellem forskellige metoder til kvantificering af tidselforekomst i parceller. Metoder beskrevet i tabel 4. Marknavn: Højbakkegård. År: 2016. *** ($P < 0,001$).

	Karakter billede	Karakter Mark	Billedanalyse manuel	Billedanalyse automatisk	Antal skud pr m ²
Karakter billede	1	0,87***	0,87***	0,93***	0,97***
Karakter mark		1	0,81***	0,87***	0,87***
Billedanalyse manuel			1	0,92***	0,88***
Billedanalyse automatisk				1	0,93***
Antal skud pr. m ²					1

TABEL 10. Korrelationskoefficienter som beskriver sammenhængen mellem forskellige metoder til kvantificering af tidselforekomst i parceller. Metoder beskrevet i tabel 4. Marknavn: Snubbekorsgård 1: 2016. *** ($P < 0,001$).

	Karakter billede	Billedanalyse manuel
Karakter billede	1	0,98***
Billedanalyse manuel		1

TABEL 11. Korrelationskoefficienter som beskriver sammenhængen mellem forskellige metoder til kvantificering af tidselforekomst i parceller. Metoder beskrevet i tabel 4. Marknavn: Snubbekorsgård 2: 2016. *** ($P < 0,001$).

	Karakter billede	Billedanalyse manuel
Karakter billede	1	0,95***
Billedanalyse manuel		1

TABEL 12. Korrelationskoefficienter som beskriver sammenhængen mellem forskellige metoder til kvantificering af tidselforekomst i parceller. Metoder beskrevet i tabel 4. Marknavn: Bakkegården. År: 2017. *** ($P < 0,001$).

	Karakter billede	Billedanalyse manuel	Antal skud pr m ²
Karakter billede	1	0,94***	0,86***
Billedanalyse manuel		1	0,80***
Antal skud pr. m ²			1

TABEL 13. Korrelationskoefficienter som beskriver sammenhængen mellem forskellige metoder til kvantificering af tidselforekomst i parceller. Metoder beskrevet i tabel 4. Marknavn: Snubbekorsgård 1. År: 2017. *** ($P < 0,001$).

	Karakter Billede	Billedanalyse manuel	Antal skud pr m ²
Karakter billede	1	0,90***	0,79***
Billedanalyse manuel		1	0,92***
Antal skud pr. m ²			1

TABEL 14. Korrelationskoefficienter som beskriver sammenhængen mellem forskellige metoder til kvantificering af tidselforekomst i parceller. Metoder beskrevet i tabel 4. Marknavn: Snubbekorsgård 2. År: 2017. *** ($P < 0,001$).

	Karakter billede	Karakter Mark	Billedanalyse manuel	Billedanalyse automatisk
Karakter billede	1	0,91***	0,97***	0,91***
Karakter mark		1	0,88***	0,86***
Billedanalyse manuel			1	0,88***
Billedanalyse automatisk				1

Korrelationsanalyser viste, at der kun var sikre sammenhænge imellem tidselforekomst og udbytte i to forsøg. Det var Nr. Alslev (2016) og Snubbekorsgård 2 (2016), som var de to forsøg med de fleste tidsler (tabel 5). Da korrelationskoefficienterne var negative, var øget tidselforekomst korreleret med udbyttetab. I 4 forsøg var der positive korrelationskoefficienter, men de var ikke signifikante. Der var intet, som indikerede, at nogle af metoderne var bedre til at beskrive udbyttenedgangen end andre (tabel 15).

TABEL 15. Korrelationer mellem kornudbytte og forskellige måder at kvantificere tidselforekomsten.

Marknavn	År	Karakter Billede	Karakter mark	Billedanalyse Manuel	Billedanalyse Automatisk	Antal skud pr m ²
Nr. Alslev	2016	-0,54***	-0,50**	-0,60***	-0,61***	
Haraldsted	2016	-0,27 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	
Højbakkegård	2016	0,21 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Snubbekorsgård 1	2016	0,05 ^{ns}		0,08 ^{ns}		
Snubbekorsgård 2	2016	-0,83**		-0,82**		
Bakkegården	2017	0,20 ^{ns}		0,33 ^{ns}		0,16 ^{ns}
Snubbekorsgård 1	2017	0,26 ^{ns}		0,32 ^{ns}		0,37 ^{ns}
Snubbekorsgård 2	2017	-0,13 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	

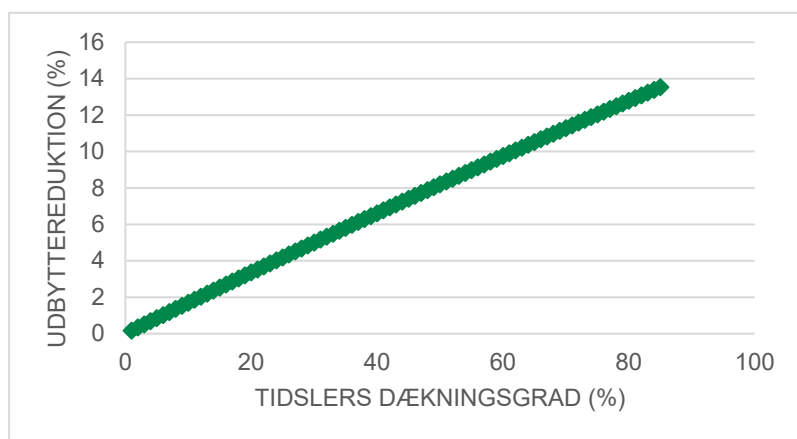
Alle korrelationskoefficienter mellem det høstede korns vandprocent og tidselforekomst var positive men korrelationen var kun signifikant i to forsøg (Nr. Alslev 2016 og Højbakkegård 2016) (tabel 16).

TABEL 16. Korrelationer mellem kornets vandprocent og forskellige måder at kvantificere tidselforekomsten.

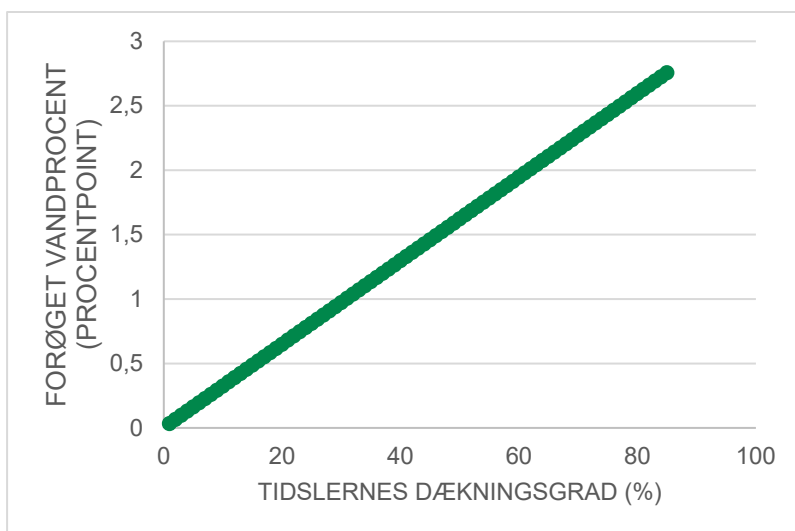
Marknavn	År	Karakter Billede	Karakter mark	Billedanalyse Manuel	Billedanalyse Automatisk	Antal skud pr m ²
Nr. Alslev	2016	0,57***	0,55**	0,53***	0,58***	
Haraldsted	2016	0,07 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,22 ^{ns}	
Højbakkegård	2016	0,80***	0,68***	0,81***	0,73***	0,83***
Snubbekorsgård 1	2016	0,12 ^{ns}		0,05 ^{ns}		
Snubbekorsgård 2	2016	0,35 ^{ns}		0,35 ^{ns}		

Regressionsanalyse af hele datamaterialet (alle forsøg) viste, at sammenhængen mellem udbytte og tidselforekomst varierede mellem forsøgene. Dette gjaldt både når tidselforekomsten var udtrykt som karakter billede ($P = 0,005$) og som billedanalyse manuel ($P < 0,001$). Udbyttet var kun sikkert negativt påvirket af tidselforekomsten i forsøgene Nr. Alslev 2016 og Snubbekorsgård 1 (2016). Ved at betragte forsøgene som tilfældige variable, kunne den gennemsnitlige konkurrenceparameter bestemmes i henhold til ligning 1. Uanset om der blev anvendt karakter billede eller billedanalyse manuel til at kvantificere tidselforekomsterne, var konkurrenceparametrene stort set identiske og kunne ikke adskilles på grundlag af konfidensintervaller. Konkurrenceparameteren var henholdsvis -0,00164 og -0,00170. I figur 9 er vist den prædikterede sammenhæng mellem udbyttetab og tidselforekomst bestemt ved hjælp af billedanalyse manuel for forsøgene som helhed.

Også vandprocenten blev påvirket forskelligt af tidslerne i de forskellige forsøg ($P < 0,01$), men betragtes alle forsøg under et, hvor det enkelte forsøg betragtes som en tilfældig variabel, kunne der påvises en sikker ($P < 0,001$) lineær forøgelse af vandprocenten i det høstede korn med stigende forekomster af tidsler. Den prædikterede øgning af vandprocenten er præsenteret i figur 10.



FIGUR 9. Tidslers udbyttereducerede evne prædikeret på grundlag af alle 8 forsøg. Tidslernes dækningsgrad er bestemt ved hjælp af manuel billedanalyse. Kurven er beregnet ud fra ligning 2 med konkurrenceparameteren $b = -0,00170$.



FIGUR 10. Tidslernes påvirkning af vandprocenten i det høstede korn prædikeret på grundlag af forsøgene fra 2016. Tidslernes dækningsgrad er bestemt ved hjælp af manuel billedanalyse. Hældningen på linjen er 0,031.

6.5 Diskussion og konklusion

Der er kun gennemført få forsøg med tidslers konkurrenceevne i korn, hvorimod der er gennemført mange forsøg med bekæmpelse af tidsler. I nogle af disse forsøg, kan man få et indtryk af tidslers evne til at reducere udbyttet (Davis et al., 2018). Kirkland (1977) fandt eksempelvis i forsøg med tidselbekæmpelse, at udbyttet i kontrolparceller med 72 tidselskud pr. m², var 89% lavere end i parcellerne med ganske få tidselskud. Udbyttet blev opgjort i 3 m² parceller og tidslerne blev talt op i 0,75 m² prøveflader. Petersen (1944) opnåede et udbyttetab på cirka 25% ved cirka 90 tidselskud pr. m².

O'Sullivan et al. (1982) kvantificerede en sammenhæng mellem udbytte i byg og antal tidselskud pr m², som bygger på syv forsøg i kommercielle marker. Metoden er den samme som er anvendt i nærværende studie, men plotstørrelsen var kun 1 m². Der var 21 parceller i hvert forsøg, og ved at anvende hele datamaterialet kunne følgende sammenhæng etableres:

$$Y = 0,42 + 7,6 \cdot \sqrt{x},$$

Ligning 3

hvor Y er udbyttereduktion i procent og x er antal tidselskud pr. m². Denne formel giver en udbyttereduktion på 13,5% ved 3 tidselskud pr. m², hvilket svarede til den højeste forekomst af tidsler i forsøget på Højbakkegård 2016. Da der var en tæt sammenhæng mellem antal tidselskud og dækning (billedanalyse manuel) ($r=0,88^{***}$) (tabel 9), kan tidslerne dækningsgrad prædikteres ud fra antallet af tidselskud ved lineær regression. Herved opnås en dækning på 17% for 3 tidsler pr. m². I det nærværende studie blev der opnået et udbyttetab på 2,8% (figur 9) ved 17% dækningsgrad (billedanalyse manuel). Der er således meget stor forskel på tidslernes udbyttedmæssige betydning i de to studier, hvor de canadiske tidsler var næsten 5 gange så konkurrencedygtige.

I et dansk ekspertsystem fra 1992 indgik der en model til beregning af blandede ukrudtspopulationers konkurrenceevne over for korn (Dindorp, 1992). Modellen anvender det såkaldte crop equivalent princip, og anvender man modellen til at beregne tidslers udbyttereducerende evne i vårbyg, får man en udbyttereduktion på 2,9% ved 3 tidselskud pr m², hvilket er i fin overensstemmelse med de 2,8%, som blev fundet i dette projekt. Altså en underbyggelse af, at "danske tidsler" ikke er nær så konkurrencedygtige som canadiske.

En årsag til den meget markante forskel i konkurrenceevne kan være forskelle i tidspunktet for tidslernes fremspiring. Ligning 3 bygger på canadiske forsøgsresultater og Donald & Khan (1996) beretter, at tidsler spirer tidligere frem end kornet i Canada. Dette var ikke tilfældet i de danske forsøg. Her spirede tidslerne frem i kornets 2-4 bladstadiet, og de overvoksede ikke afgrøden før efter Sct. Hans. Ukrudtets relative fremspiringstidspunkt i forhold til kornet, har stor betydning for dets konkurrenceevne, og dette kan være en væsentlig årsagsforklaring på, at tidslerne ikke gav anledning til nær så store udbyttereduktioner, som der er rapporteret i den canadiske litteratur.

I dette studie skulle der cirka 20% dækning til at fremkalde et udbyttetab på 3%, hvilket kan forekomme som et overraskende lavt udbyttetab. En mark hvor tidslerne dækker 20% af marken ved høst, vil af de fleste opfattes som noget nær en katastrofe. Ifølge figur 10 vil vandprocenten i det høstede korn stige med 0,6 procentpoint. Det største problem i en mark, hvor tidslerne dækker 20% er nok det høstbesvær, som de vil forvolde. Det har ikke været muligt at finde resultater i litteraturen med hensyn til hvordan tidsler påvirker vandprocent og høstbesvær.

7. Fra dronefoto til pletsprøjtning – fuldskalaforsøg

7.1 Afvigelser fra projektansøgningen

Hovedformålet med projektet var at vise, at det kan lade sig gøre at pletsprøjte tidsler efter digitale kort baseret på dronefotos. I projektansøgningen var der lagt op til, at der skulle gennemføres 4 forsøg i regi af Landsforsøgene med deltagelse af SEGES, AgroTech, lokale konsulenter og landmænd. Forsøgene skulle udbydes på linje med de øvrige landsforsøg, som udbydes af SEGES. Lokalt skulle der etableres kontakt til landmænd som havde kornmarker med tidsler og sektionsopdelte sprøjter, som kunne sprøjte efter digitale kort. Fotografering med droner skulle foretages lokalt, og der skulle pletsprøjtes med et glyphosat-produkt før eller efter høst i et forsøgsdesign, som gjorde det muligt at undersøge, om pletsprøjtningen havde samme effektivitet som fladesprøjtningen. Billedanalysen skulle foretages af Københavns Universitet.

Allerede tidligt i projektet blev det klart, at forsøgsopgaven var for kompleks til at kunne indgå i Landsforsøgene. Der måtte derfor foretages gennemgribende ændringer i arbejdsfordeling og forsøgsaktiviteter. Formålet med arbejdet blev dog bibeholdt. Alle gennemførte aktiviteter fokuserede på at vise, om pletsprøjtning efter kort kunne lade sig gøre.

I det følgende vil der ikke blive redegjort for de mange praktiske problemer, som projektet stødte ind i undervejs. Mange af dem handler om "bløde" aspekter knyttet til implementering af ny teknologi og arbejdsopgaver i forsøgsarbejdet, såsom kompetencer, motivation og organisatoriske forhold. De problemer som vil blive omtalt i denne rapport er først og fremmest af teknisk karakter.

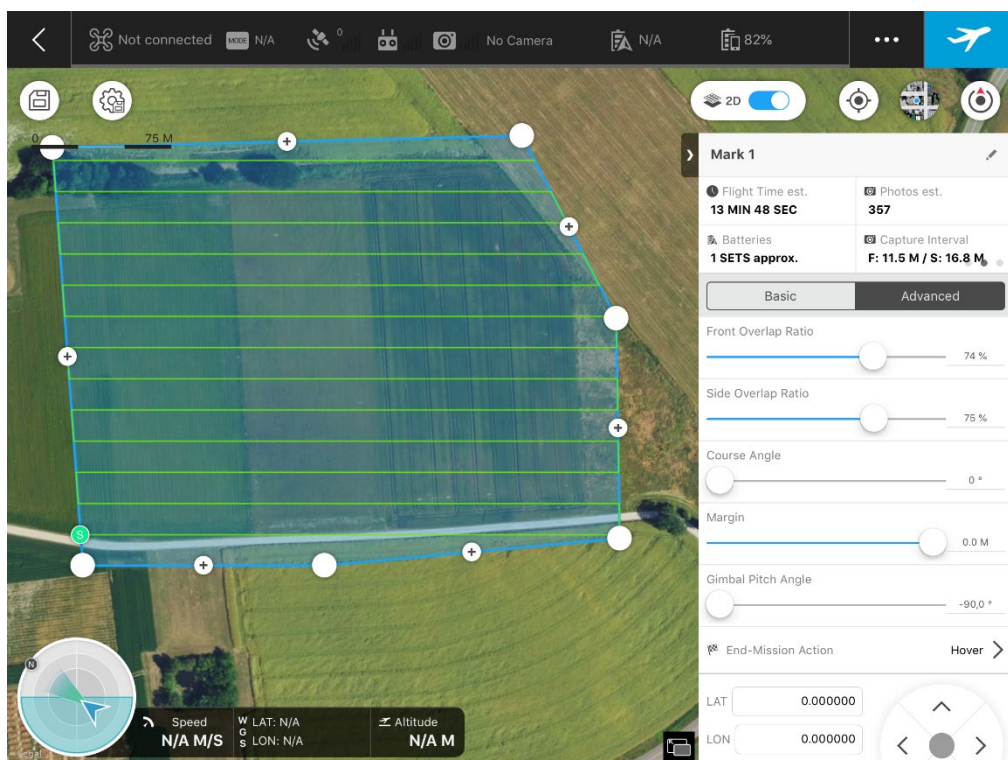
Afvigelserne fra den oprindelige projektansøgning skønnes ikke at have påvirket projektets resultater negativt.

I afsnit 7.2 til 7.5 beskrives status for alle arbejdsprocesser fra dronens ruteplanlægning til udførelse af pletsprøjtning og i afsnit 7.6 præsenteres resultater, som viser hvilken præcision man kan opnå ved anvendelse af sprøjter med forskellige inddelinger af sprøjtebommen.

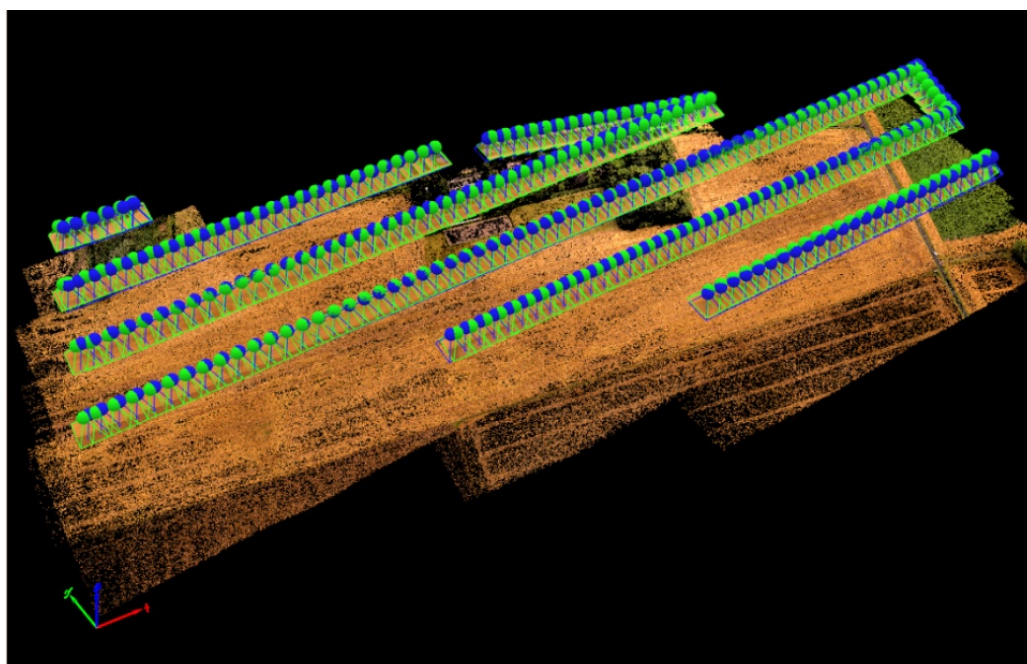
7.2 Ruteplanlægning og fotografering

Ruteplanlægning handler om at programmere dronen til at overflyve det areal som skal kortlægges i en passende højde og med en passende hastighed, samt at indstille kameraet således at billederne tages med et passende overlap. Billedoverlap er påkrævet for at billederne kan sættes sammen til en orto-mosaik, som er et sammensat billede, hvor alle punkter på jorden ses lige ovenfra.

Der findes mange ruteplanlægningsværktøjer, men det foretrukne i dette projekt har været DJI GS Pro (<https://www.dji.com/ground-station-pro>), som har fungeret perfekt i forhold til de DJI Phantom 3 og 4 droner, som har været anvendt (figur 11). Det tager cirka 1 minut at foretage ruteplanlægningen og at overføre den (trådløst) til dronen. Når ruteplanen er overført,



FIGUR 11. Skærbillede fra DJI GS Pro appen hvor et område er afmærket til fotografering. Der er valgt billedoverlap på cirka 75% på langs og på tværs af flyveretningen. Det afmærkede område er 6,5 ha og ved en overflyvning i 40 m er flyvetiden beregnet til lige knap 14 min.



FIGUR 12. Markering af billeder optaget med DJI Phantom drone ved anvendelse af DJI GS Pro. De grønne kugler angiver kameraets registrerede placering ved fotografering, og de blå angiver de beregnede placeringer. Det bemærkes at billederne er taget med konstant afstand, hvilket øger orto-mosaikkens kvalitet.

kan dronen lette, overflyve og lande automatisk, således at dronepiloten alene skal foretage overvågning af dronen.

Det eneste problem som har været med fotografering efter ruteplanlægninger er stærk vind ($> 10 \text{ m s}^{-1}$). Her kan dronen have problemer med at holde den planlagte rute. En løsning er at flyve dronen ved hjælp af fjernbetjeningen. Dette har givet udmærkede resultater men stiller noget større krav til dronepiloten end anvendelse af ruteplan.

7.3 Orto-mosaikker

Der findes mange programmer til fremstilling af orto-mosaikker (Rasmussen, 2018a), men det foretrukne i dette projekt har været Pix4DMapper (<https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>).

Mosaikkernes geografiske nøjagtighed afhænger af dronens GPS og ved anvendelse af droner uden RTK-GPS, kan man ikke forvente tilstrækkelig nøjagtighed. I figur 13 ses et eksempel på en orto-mosaik, som er lagt oven på et Google Maps kort, og det afslører en vis geografisk uoverensstemmelse (Google kortet er meget præcist). SDFE kort (<https://sdfe.dk/>) kan også anvendes. I et sideløbende projekt (Future Cropping) har der været arbejdet med forskellige metoder til korrektion af orto-mosaikker, og det er vist, at man kan opnå mosaikker med en nøjagtighed på nogle få centimeter ved at anvende ground control points (GCPs) eller droner med RTK-GPS (Azim et al., 2019). Ground control points kræver opmåling af 5 til 10 synlige fikspunkter på jorden med RTK-GPS udstyr. Det er ligeledes vist, at man kan opnå en nøjagtighed på under en meter ved at rette ortomosaikker op i forhold til Google Earth og/eller sprøjtespor (AB-linjer) i marken. Korrektionerne kan foretages i et GIS program og er betydelig billigere end at anvende ground control points og droner med RTK-GPS (Azim et al., 2019). Hvis man ikke selv har RTK-GPS udstyr, koster det cirka 1600 kr. at leje og dertil skal lægges omkostninger til den tid, det tager, at gå rundt i marken og opmåle punkter. Droner forsynet med RTK-GPS forøger dronens pris med 50-100.000 kr.

Dannelse af orto-mosaikker er rutine og kræver en ganske lille arbejdsindsats. Den mest tidskrævende opgave er at flytte billeder fra drone til computer.



FIGUR 13. Ortomosaik dannet af billeder fra en Phantom 4 drone uden RTK-GPS. Det fremgår, at der er en vis unøjagtighed i forhold til det Google Maps kort, som mosaikken er lagt ned over. Se tekst for oplysninger om hvordan dette problem kan løses.

7.4 Billedanalyse med Thistle Tool

Thistle Tool detekterer om der findes tidsler i 1 m² felter. Programmet afvikles i MATLAB og har givet fine resultater. Det skønnes at nøjagtigheden i bestemmelse har ligget på cirka 95%. Dette fine resultat skyldes blandt andet, at der ikke var grønskud, umodent korn eller andet grønt ukrudt end tidsler i de kortlagte marker.

Selve billedanalysen har taget cirka 5 minutter pr mark, og markerne har været fra 5 til 15 ha. De er blevet fotograferet i 40 m højde med Phantom 3 og 4 droner og billedopløseligheden har været på cirka 1,7 cm pr. pixel. Denne billedopløselighed sikrer, at enkelte tidselplanter kan identificeres på billederne. Ulempen ved at anvende så stor billedopløselighed er, at fotograferingen tager forholdsvis lang tid (cirka 2 min. pr. hektar), og at datamængden bliver meget stor for store marker.

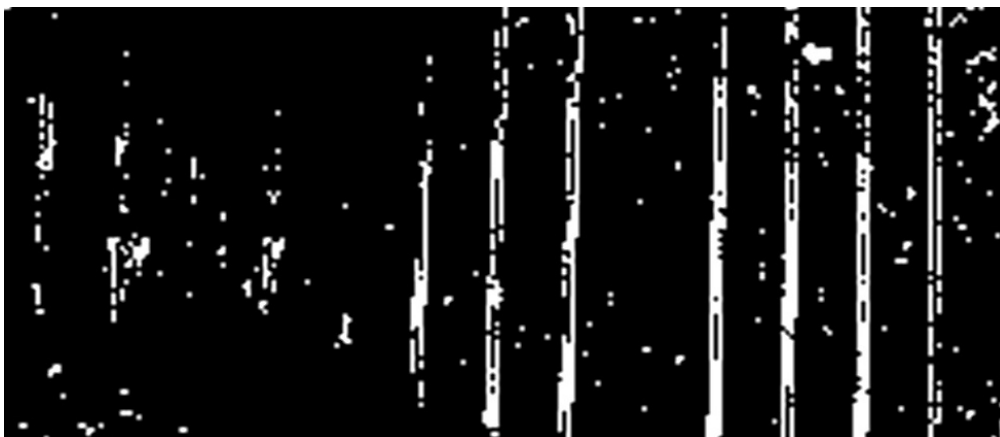
Thistle Tool leverer et analyseresultat i form af en binær GeoTIFF fil, hvor felter med tidsler angives som hvide felter, og felter uden tidsler angives som sorte (figur 14).

For at Thistle Tool fungerer optimalt, skal en række betingelser være opfyldt, da programmet alene detekterer tidsler ved hjælp af farve. Programmets begrænsninger er diskuteret i Rasmussen et al. (2018b).

7.5 Indlæsning af tildelingsfiler i sprøjteterminaler

På grundlag af de binære TIFF filer som genereres i Thistle Tool, dannes der tildelingsfiler, som kan indlæses i sprøjteterminalen. Tildelingsfiler rummer oplysninger om placeringen af de områder, som skal sprøjtes samt den tildelte dosering. Tildelingsfiler kan enten være i shape-format eller ISOXML-format. De fleste sprøjteterminaler kan læse shape filer, nogle kan læse ISOXML og enkelte kan læse begge dele. Shape filer kan genereres ved at indlæse de binære GeoTIFF filer fra Thistle Tool i et GIS program og derefter gemme dem i shape format. Som det fremgår af figur 14, kan sprøjtespor fejlagtigt blive bestemt som tidsler, hvis der er grøn vegetation i bunden af sporene. Sporene kan fjernes i et GIS program, hvis man ikke ønsker at sprøjte dem.

Ved konvertering til shape filer dannes der i programmerne ArcGIS og QGIS 7-8 filer, som alle gemmes i en mappe. Forsøger man at indlæse disse filer i en sprøjteterminale via en USB nøgle, er det ikke alle terminaler, som reagerer. I projektet blev det forsøgt at indlæse shape filer genereret i QGIS i en Amazone sprøjteterminale, og den reagerede ikke. Det viste sig, at terminalen kun kunne indlæse tildelingskortet, hvis en del af filerne blev fjernet. Den specifikke sprøjteterminale havde kun behov for filer i formaterne DBF, SHP og SHX, og det viste sig, at PRJ filer (angivelse af koordinatsystem og projektioner) blokerede for indlæsningen. Hvordan det forholder sig med andre terminaler vides ikke. På nuværende tidspunkt, må man prøve sig frem, da der ikke findes entydige retningslinjer for indlæsning af filer i traktorcomputere.



FIGUR 14. Binært billede genereret i Thistle Tool som angiver hvor der er tidsler og anden grøn vegetation. Traktorspor med grønt i bunden er repræsenteret ved linjestrukturer. Disse kan fjernes, hvis man ikke ønsker at sprøjte dem.

I projektet blev ISOXML filer dannet på tre forskellige måder: 1) manuelt på grundlag af standarden DS/ISO 11783-10:2010 (<https://webshop.ds.dk/da-dk/standard/ds-iso-11783-102010>), 2) i et program, som kan omsætte shape-filer til ISOXML (<https://www.mueller-elektronik.de/en/products/shape-iso-xml-converter/>) og 3) ved at generere en ISOXML fil i CropSat (<https://cropsat.com/dk/da-dk>). Ingen af metoderne gav brugbare resultater ved indlæsning i en terminal til en Amazone-sprøjte. I projektet Future Cropping, lykkedes det ligeledes ikke i foråret 2018 at konvertere en shape-fil til ISOXML, således at en helt ny Kverneland terminal kunne indlæse tildelingsfilen. ISOXML er således ikke den fælles standard, som der var lagt op til, og det kan være endog meget vanskeligt at finde ud af, hvilken ISOXML version en given terminal kan læse.

Indlæsning af tildelingskort har således været et stort og til dels uoverkommeligt problem i projektet. Først og fremmest på grund af en generel manglende viden om hvilke filformater de forskellige terminaler kan læse. I de situationer, hvor det ikke er lykkedes at indlæse tildelingskort i sprøjte-terminalen, har det ikke været muligt at få præcise oplysninger om terminalernes specifikke krav til filformater fra forhandlerne af sprøjterne. Det har heller ikke været muligt at finde eksempelfiler på internettet.

Man kan vælge at anvende andre terminaler end dem som hører til sprøjten, hvis problemer bliver uløselige. Følgende terminaler kan styre sprøjter og indlæse alle typer filer: Topcon (<https://thorsen-teknik.dk/topcon/>), Ag Leader (<https://ag-precision.com/produkter/>) og Trimble (<https://www.geoteam.dk/produkter/præcisionslandbrug.aspx>).

I 2018 blev der gennemført i alt 6 pletsprøjtningforsøg på Højbakkegård, Københavns Universitet, med en nyindkøbt Amazonesprøjte. Indlæsning af tildelingskort er vist i videoen: <https://youtu.be/UJCaXUARUPQ>.

7.6 Præcision ved pletsprøjtning

I projektets første år, 2016, lykkedes det ikke at pletsprøjte en mark på Christianssæde Gods på Lolland med Glyphosat efter høst. Planen var at anvende godsets eget udstyr, men på grund af problemer med indlæsning af tildelingskortet, måtte det opgives. Efter en stor indsats af en række forskellige personer, lykkedes det med hjælp af maskinforhandler Karl Mertz (<https://karlmertz.dk/forsiden/>), at få marken sprøjtet med Reglone i december 2016. Ikke for at bekæmpe tidsler, men alene for at afprøve sprøjte-teknikken. Der blev ikke foretaget nøjagtig

registrering af præcisionen, men ved at sammenholde tildelingskort og effektmønstret i marken (figur 15), blev der registreret en umiddelbar fin overensstemmelse. Arbejdet er dokumenteret på video: <https://www.youtube.com/watch?v=HltCPk4z9uQ> af DLS (Dansk Landbrug Sydhavsørerne).

I erkendelse af de erfarede vanskeligheder med at indlæse tildelingskort, blev en række sprøjteproducenter/-forhandlere inviteret til en test af pletsprøjtning efter kort i samarbejde med Teknologisk Institut, SEGES og Aarhus Universitet. Arrangementet foregik i Videbæk, Vestjylland og var finansieret af projektet Future Cropping og beskrevet i Mikkelsen et al. (2017) og i videoen <https://www.youtube.com/watch?v=9zfFbRGB3o&feature=youtu.be>. Testen afslørede, at visse sprøjtefabrikater havde så store problemer med indlæsning af tildelingskort, at de måtte opgive at sprøjte. Testen viste ligeledes, at det ikke var sprøjterne i sig selv, som var problemet, men ene og alene sprøjteterminalerne. Ved at anvende en Ag Leader terminal i testforsøgene, syntes problemerne med indlæsning og anvendelse af tildelingskort løst (Mikkelsen et al., 2017).

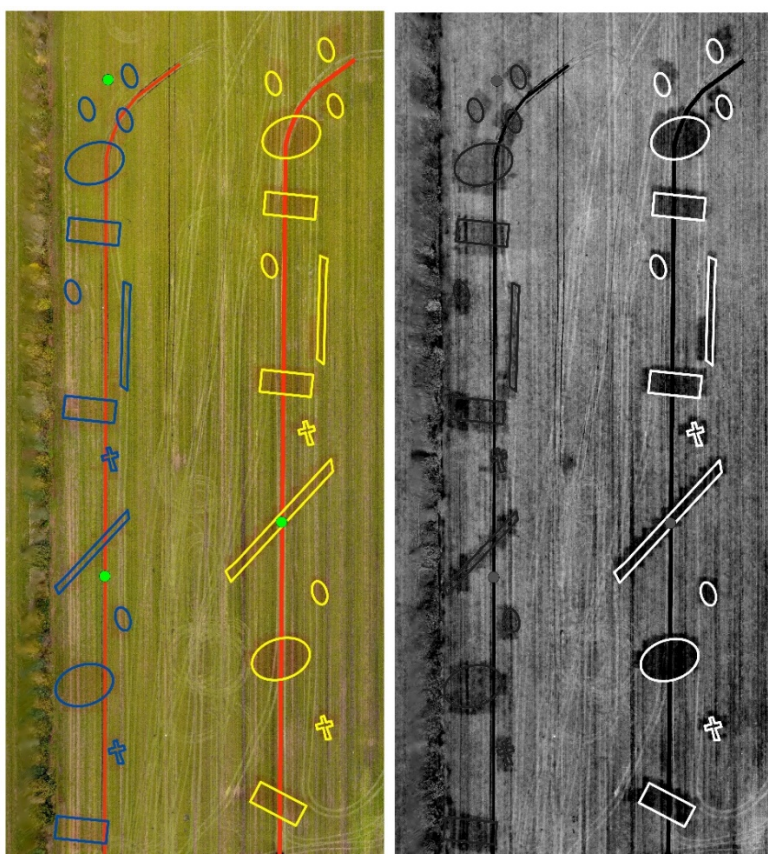


FIGUR 15. Effekt af første forsøg med pletsprøjtning efter kort 2016 på Christianssæde Gods, Lolland, For yderligere oplysninger se <https://www.youtube.com/watch?v=HltCPk4z9uQ>. Foto Bo M. Secher, Nordic Sugar.

I forbindelse med den gennemførte test, blev der udviklet en ny metode til måling af præcision ved pletsprøjtning. I stedet for et herbicid blev der sprøjtet med farvestoffet Ponceau 4R, som anvendes i fødevarerindustrien. Der blev anvendt 1 kg pr. ha i 200 liter vand og tilsat klæbemiddel, hvilket svarer til en udgift på cirka 320 kr./ha. Farvestoffet er nemt at se fra luften (figur 16), hvilket gjorde det muligt at sammenligne tildelingskort med aktuel tildeling (figur 17).



FIGUR 16. Pletsprøjtning med farvestoffet Ponceau 4R. Foran sprøjten er der sprøjtet en enkelt gang, og bag ved sprøjten er der sprøjtet to gange (fra test i Videbæk 2017).



FIGUR 17. Illustration af metode til måling af præcision ved pletsprøjtning: tildelingskort lægges ned over orto-mosaikken af det sprøjtede areal (venstre) og den røde farve kan om nødvendigt forstærkes ved billedredigering (højre), og beregning af 1) det korrekte sprøjtede areal, 2) det manglende sprøjtede areal og 3) det ekstra sprøjtede areal kan opgøres i et GIS-program (fra test i Videbæk 2017).

I nærværende projekt er gennemført 8 forsøg med 3 forskellige sprøjter med henblik på at måle pletsprøjtningens geografiske nøjagtighed. I resultatpræsentationen er medtaget resultaterne fra de to forsøg i Videbæk (Future Cropping) (Mikkelsen et al., 2017), hvor tildelingsområderne bestod af forskellige geometriske former (figur 17). Resultaterne fra nærværende projekt beror på tildelingsfiler, der afspejler reelle tidselføremster.

I tabel 17 ses resultater fra alle 10 forsøg. Ved anvendelse af sprøjter med 3 m bomsektioner, er 89 – 96% af arealerne på tildelingskortene blevet sprøjtet korrekt, og der er samtidig blevet sprøjtet et ekstra areal på 42 – 106%. Den ekstra sprøjtning er foretaget i randområderne af de planlagte arealer, og hovedårsagen er at tildelingsarealerne ikke passer geometrisk til bomsektionerne. Et tildelingsområde på 1 m², vil eksempelvis som minimum udløse 3 m² sprøjtet areal, ved anvendelse af 3 m sektioner. Hvis tildelingsområdet rammer to sektioner, vil der som minimum blive sprøjtet 6 m². Da alle opgørelser beror på sammenligninger mellem et tildelingskort og en orto-mosaik, vil orto-mosaikkernes rumlige nøjagtighed have indflydelse på resultaterne. I alle forsøg er der anvendt RTK-GPS ground control points, og det forventes derfor, at den rumlige nøjagtighed ligger i intervallet 5-10 cm (Azim et al., 2019). Den geografiske usikkerhed kan være en del af forklaringen på, at de planlagte tildelingsarealer ikke er ramt 100%. Der blev dog observeret unøjagtig sprøjtning i kurver, som det fremgår øverst i figur 17.

I forsøgene på KU's forsøgsgårde i 2018, blev der anvendt en sprøjte, som kan tænde og slukke alle dyser uafhængigt af hinanden (0,5 m sektioner), og det resulterede i, at kun et ganske lille areal uden for tildelingsarealerne blev sprøjtet (tabel 17). I serie 1 blev imidlertid kun 77 – 85% af tildelingsarealerne sprøjtet korrekt. Inden de 3 marker blev sprøjtet, blev det opdaget, at der opstod et kapacitetsproblem, når dyserne skulle tændes og slukkes individuelt ved almindelig kørehastighed (6 – 8 km/t). Sprøjteterminalen kunne simpelthen ikke følge med. Blev sprøjten indstillet til at sprøjte i 3 m sektioner, var der intet problem. Før serie 1 blev gennemført, blev det vurderet, at en kørehastighed på 4 – 4,5 km/t var lav nok, til at sprøjteterminalen kunne følge med. Resultaterne viste dog, at det ikke var tilfældet. Derfor blev forsøgene gentaget med en lavere kørehastighed (2,5 – 3 km/t), hvilket gav et bedre resultat. Nu blev 89 – 92% af tildelingsarealet sprøjtet korrekt og kun 2 til 4% ekstra areal blev sprøjtet. Der var dog stadig problemer med, at dyserne åbnede for sent, når der var mange dyser, der skulle tændes umiddelbart efter hinanden. Amazone har udviklet en ny sprøjteterminal, som dog endnu ikke er kommet i handlen. Den forventes at være hurtig nok til at kunne tænde og slukke enkeltstyser ved almindelige kørehastighed, men den har endnu ikke været afprøvet.

TABEL 17. Resultater fra forsøg med måling af præcision ved pletsprøjtning. Forsøgene udført i Videbæk og Stubbekøbing er gennemført ved en kørehastighed på 6 km – 8 km/t. I Højbakkegård – serie 1 var kørehastigheden 4 – 4,5 km/ og i Højbakkegård – serie 2 var kørehastigheden 2,7 – 3 km/t. Se tekst for yderligere oplysninger.

Sted og år	Sprøjte og bom	Areal og antal tildelingsområder	Korrekt sprøjtet areal (%)	Sprøjtet areal uden for tildelingsområder (% i forhold til tildelingsområdet)
Videbæk 2017	Hardi 28 m	0,103 ha - 14	96	106
	- 3 m sektioner			
	Horsch 36 m	0,103 ha - 14	96	98
	- 3 m sektioner			
Stubbekøbing 2017 – mark 1	Hardi 32 m	0,776 ha - 63	89	74
	- 3 m sektioner			
Stubbekøbing 2017 – mark 2	Hardi 32 m	1,565 ha - 100	95	42
	- 3 m sektioner			
Højbakkegård 2018 – serie 1	Amazone 24 m			
	- dyse-sektionering			
	Mark 1	0,173 ha - 42	85	8
	Mark 2	0,136 ha - 22	77	8
	Mark 3	0,295 ha - 22	84	7
Højbakkegård 2018 – serie 2	Amazone 24 m			
	- dyse-sektionering			
	Mark 1	0,160 ha - 42	89	3
	Mark 2	0,116 ha - 22	90	2
	Mark 3	0,259 ha - 22	92	4

7.7 Diskussion og konklusion

Forsøgene har vist, at det er muligt at kæde dronebilleder sammen med pletsprøjtning af tidsler. Det er dog ikke alle arbejdsopgaver "fra dronelfotos til pletsprøjtning" som er forløbet lige let.

Indsamling af billeder med en lille brugervenlig drone med farvekamera (f.eks. droner i Phantom 4 serien) har vist sig helt uproblematisk. Denne arbejdsopgave kan udføres af hvem som helst med en smule interesse for fotografering og droner.

Sammensætning af billeder til orto-mosaikker er også forløbet problemfrit. Der findes en række fotogrammetri-programmer og cloud-baserede services, som kan sætte billederne sammen til orto-mosaikker. For at opnå stor geografisk præcision er det nødvendigt enten at anvende droner med RTK-GPS eller ground control points, som skal opmåles med RTK-GPS. Herved kan den rumlige fejl bringes ned på under 10 cm (Azim et al., 2019). Anvendes i stedet A-B linjer (sprøjtespor) til manuel korrektion af orto-mosaikker, kan den rumlige fejl holdes inden for 0,5 – 1 m. Geo-korrektion af orto-mosaikker eller anvendelse af ground control points kræver en vis specialviden, som dog forholdsvis nemt kan tilegnes. Droner med RTK-GPS findes og mange prisklasser, men i 2018 blev Phantom 4 droner markedsført med RTK-GPS, så det er muligt at fremstille orto-mosaikker med meget stor nøjagtighed uden ground control points. En Phantom drone med RTK-GPS koster cirka 50.000 kr.

Detektion af tidsler er forløbet fuldt tilfredsstillende med programmet Thistle Tool. Nøjagtigheden i bestemmelserne har ligget på cirka 95%. Det har dog været nødvendigt at

fjerne traktorspor manuelt fra orto-mosaikker i enkelte marker, da der var grønt i bunden af sporene. Thistle Tool er programmeret i MATLAB, hvilket er en afgørende barriere for praktisk anvendelse, da programmet har en meget begrænset udbredelse uden for forsknings- og udviklingsmiljøer.

Resultaterne med pletsprøjtning efter kort var gode. I Rasmussen et al. (2016a) blev det anbefalet at lave en sikkerhedszone omkring tidsforekomsterne, for at være sikker på at ramme pletterne. Dette synes unødvendigt, hvis man arbejder med rumligt præcise kort, da resultaterne viser, at 89 – 96% af tildelingsarealerne rammes korrekt med sprøjter der har 3 m bomsektioner. Det var ikke muligt at forøge denne træfsikkerhed ved at anvende en sprøjte, hvor hver enkelte dyse kunne tændes og slukkes, hvilket skyldes en "umoden" teknologi, som forventes at blive rettet til snarest. Der var dog en klar fordel ved at anvende sprøjten, hvor hver eneste dyse kunne tændes og slukkes uafhængigt af de andre, da arealet uden for tildelingsarealet var langt mindre end for sprøjterne med 3 m bomsektioner.

I projektets forløb har der været store problemer med at indlæse tildelingsfiler i sprøjteterminalerne. Problemerne eksisterer fortsat, men der findes løsninger. I projektet har der været tilfælde, hvor det er blevet opgivet at indlæse tildelingsfiler i den terminal, som hører til sprøjten. Det gælder terminaler som kun kan læse ISOXML. Problemet kan dog løses ved at tilkøbe en af de terminaler, som kan håndtere alle filformater.

Der findes ingen andre studier, hvor hele kæden "fra dronefotos til pletsprøjtning" har været evalueret baseret på konkrete forsøgsresultater. Der findes forsøg, hvor herbicidtildelingen målrettes den kortlagte ukrudtsflora (f.eks. Gerhards et al., 2012), men det forudsættes, at tildelingen af herbicider er i fuld overensstemmelse med tildelingsplanen.

8. Økonomiske betragtninger

Det ligger uden for rapportens målsætning at foretage en egentlig økonomisk analyse af pletsprøjtning på grundlag af dronefotos, men i det følgende er der foretaget et simpelt økonomisk overslag.

Det antages, at pletsprøjtning ikke kræver investeringer i sprøjte og GPS-udstyr, da det er almindeligt med sektionsoptdelte sprøjtebomme og traktorer med GPS. Det økonomiske overslag beror derfor alene på en afvejning af sparede herbicidomkostninger og merudgifter til kortlægning af tidsler.

De sparede herbicidomkostninger afhænger af prisen på herbicider og besparelserne ved pletsprøjtning. Desuden afhænger økonomien af, hvor mange gange der pletsprøjtes efter det samme tidselkort. Som oftest vil en enkelt sprøjtning ikke give et tilfredsstillende resultat, og sprøjtning i to på hinanden følgende år er ikke ualmindelig. Det vil derfor være muligt at anvende det samme tidselkort til sprøjtning i 2 år. Hvis man antager, at den gennemsnitlige herbicidomkostning ved sprøjtning af hele arealet er 200 kr./ha. (tabel 18), og der opereres med to scenarier for ukrudtsforekomst og to scenarier for antallet af år, tidselkortene anvendes, kan der opnås herbicidbesparelser fra 100 til 300 kr./ha ved pletsprøjtning jævnfør tabel 19.

TABEL 18. Herbicidomkostninger i forbindelse med bekæmpelse af tidsler i forskellige afgrøder (data indhentet i maj 2019).

Afgrøde	Herbicid	Herbicidomkostning
Korn og bælgsæd før høst	3 L/ha glyphosat (360 g/l)	165 kr./ha
Korn – forår	1 L/ha MCPA (700 g/l)	210 kr./ha
Frøgræs	1 L/ha MCPA (700 g/l)	210 kr./ha
Sukkerroer	0,035 kg/ha Matrigon 72 SG + additiv	130 kr./ha
Efter høst	4 L/ha glyphosat (360 g/l)	220 kr./ha

TABEL 19. Fire scenarier for besparelse af herbicider.

Scenarie	Antal år tidselkortet anvendes til pletsprøjtning	Arealandel som sprøjtes ved pletsprøjtning	Herbicidbesparelse
1	1	50	50% 100 kr./ha
2	1	25	75% 150 kr./ha
3	2	50	50% 200 kr./ha
4	2	25	75% 300 kr./ha

Omkostningerne til fremstilling af tidselkort afhænger af arbejdstidsforbruget, udgifter til software og udgifter til drone. I tabel 20 er angivet et skønsmæssigt tidsforbrug til fremstilling af tidselkort. Som det fremgår, må man påregne et arbejdsforbrug på cirka 5 min./ha. Software til fremstilling af ortho-mosaikker kan købes, lejes eller downloades gratis. Der er udarbejdet en oversigt over softwareløsninger, som kan hentes på følgende link:

<https://futurecropping.dk/wp-content/uploads/2018/05/A-comparison-of-various-Mosaicking-Software.docx>. Hvis man vælger en betalt online-løsning, vil udgifterne ligge på omkring 1000 kr. for en enkelt sæson. Overflyves 50 hektar pr. sæson, vil udgifterne således beløbe sig til 20 kr./ha. Geo-korrektion af mosaikker kan være nødvendig, hvis man ikke anvender ground control points (GCPs) eller råder over en drone med RTK-GPS. Korrektionen kan udføres med gratis software (QGIS) som beskrevet i Azim et al. (2019).

TABEL 20. Eksempel på tidsforbrug til tidskortfremstilling for en mark på 15 hektar. Ved større marker vil tidsforbruget pr. ha reduceres og ved mindre marker, vil det øges.

Arbejdsopgave	Tidsforbrug	Tidsforbrug pr. ha
Transport til og fra mark	15 min.	1,0 min./ha
Forberedelse af fotografering	5 min.	0,33 min./ha
Fotografering	20 min.	1,33 min./ha
Lagring af billeder	5 min.	0,33 min./ha
Dannelse af orto-mosaik	7,5 min.	0,5 min./ha
Geo-korrektion af mosaik	7,5 min.	0,5 min./ha
Detektion af tidsler	7,5 min.	0,5 min./ha
Dannelse af tildelingskort	5 min.	0,33 min./ha
Total	72,5 min	4,8 min./ha

Hvis man regner med 500 kr./time til aflønning af arbejdskraft til fremstilling af kort og 20 kr./ha til betaling af software, vil omkostningerne være 60 kr./ha. Differencen mellem besparelser (tabel 19) og merudgifter (tabel 20) ligger således i intervallet 40 kr./ha til 240 kr./ha. Den store besparelse opnås over to år, da den inkluderer sprøjtning i to år efter det samme kort. I de angivne beløb skal der forrentes en drone til cirka 10.000 kr. Fordobles omkostningerne til løn, vil omkostningerne til udgøre 100 kr./ha. Dette beløb svarer nogenlunde til den pris, som det koster at få kortlagt landbrugsarealer af en service provider (egen markedsanalyse). Ved arealer mindre end 100 ha, må der dog forventes et opstartsgebyr, som vil forøge prisen.

Baseret på ovenstående økonomiske overslag, kan det konkluderes, at det forekommer realistisk, at pletsprøjtning på grundlag af dronefotos kan gennemføres uden meromkostninger for landmanden. I en række tilfælde vil pletsprøjtning kunne øge indtjeningen.

9. Hvad har vi lært og hvordan kommer man videre?

9.1 Forsøgsarbejdet kræver noget ekstra

At udføre decentrale forsøg med "fra dronefotos til pletsprøjtning" har budt på en række vanskeligheder. For at sådanne forsøg skal lykkes, er det helt afgørende, at der findes lokale kræfter, som brænder for sagen, og har et detaljeret kendskab til egnede marker og forsøgsværter. Med egnede marker menes, at der skal være tidsler nok, til at det giver mening at pletsprøjte, og der skal ikke være så mange, at det ikke giver mening. Blot det at finde egnede marker med tidsler, viste sig at være langt vanskeligere end forventet. I projektets første og andet år, var det nødvendigt at kassere marker, fordi der var så få tidsler, at det ikke gav mening at kortlægge dem. Foruden egnede marker, skulle der også findes landmænd, som havde sektionsopdelte sprøjter, og som var villige til at foretage pletsprøjtning.

Et anden udfordring var, at tidsler som regel først bliver synlige i marken sidst i juni og skal fotograferes i sidste halvdel af juli. Ferie (konsulenter) og travlhed med høst af frøgræs og vinterbyg (landmænd) spiller ind her.

Som en konsekvens af ovenstående, blev alle forsøgsaktiviteter flyttet til Højbakkegård (Københavns Universitet) i 2018, hvor der både var tidsler og en egnet sprøjte. Vi har således lært, at vi var lidt for tidligt ude til at kunne gennemføre "fra dronefoto til pletsprøjtning" i regi af Landsforsøg. Vi har dog også lært, at der findes lokale ildsjæle, som kan få "ting til at ske". Sådanne ildsjæle er guld værd i en arbejdsproces, hvor ny teknologi og arbejdsprocedurer skal indarbejdes i en travl hverdag.

9.2 Produktudvikling nødvendig

Hvis dronefotos og pletsprøjtning skal vinde udbredelse, er det vigtigt at gøre sig klart, hvilke barrierer som skal overvindes.

Fotografering med droner er nok det mindste problem, selvom der også her, kan være "små problemer", som ikke skal undervurderes. For eksempel overholdelse af gældende regler omkring anvendelse af droner. Ønsker man ikke at tage et dronebevis og samtidig overholde gældende regler, er der afstandskrav, som kan gøre det vanskeligt at overflyve marker. Uden dronebevis skal man eksempelvis holde sig 150 m fra offentlige veje med dronen. Dronebevis kan erhverves på 2-3 dages kurser, og gør det praktisk muligt at flyver over næsten alle marker. Alle dronepiloter skal som minimum have dronetegn, som kan erhverves over nettet.

I dette projekt har den største tekniske udfordring været indlæsning af tildelingskort i sprøjte-terminaler. Landmænd har kaldt dette problem for "format-helvedet", og det er nok et meget rammende udtryk. Et faktum er det, at man kan løbe ind i alvorlige problemer, hvis man ikke kan indlæse tildelingskort i sprøjte-terminalen – og det kan være vanskeligt at få hjælp. Problemet er dog lokalt, forstået på den måde, at har man først brudt koden, går indlæsningen helt uden problemer.

Et andet og mere generelt problem er, at tidseldetekteringen på nuværende tidspunkt foregår ved hjælp af Thistle Tool, som er programmeret i MATLAB. Her er det af helt afgørende betydning, at Thistle Tool – i en eller anden tilpasset form – indarbejdes i et brugervenligt program. Da algoritmerne i Thistle Tool er forholdsvis simple, skulle det ikke være noget

større teknisk problem. Arbejdet med programmet Weededetect har vist, at der er oplagte muligheder for forbedringer af Thistle Tool.

10. Konklusion

10.1 Billedanalyse

Tidsler kan detekteres på en række forskellige måder, og det er vist, at der kan opnås nogenlunde lige gode resultater med mange forskellige metoder. I dette projekt er der udviklet en ny analysemetode, Weeddetect, som især har vist forbedringer i forhold til Thistle Tool i vårbyg, hvor der kan være grønskud og uensartet modenhed. Programmet er optimeret i forhold til analyse af enkeltbilleder, hvilket endnu er problematisk, da det er vanskeligt at fremstille geografisk nøjagtige kort, når billedanalysen ikke foretages på orto-mosaikker. Elementer i Weeddetect kan med fordel indarbejdes i Thistle Tool.

10.2 Tidslers konkurrenceevne

Der er udviklet en ny metode til at bestemme tidslers udbyttmæssige betydning, som kan anvendes på markniveau. Metoden er langt mindre arbejdskrævende end de metoder som er baseret på optælling af tidselskud eller bestemmelse af biomasse. Det har ikke haft betydning om tidslernes dækningsgrad blev vurderet visuelt på dronebilleder eller bestemt ved hjælp af billedanalyse. Der blev etableret en sammenhæng mellem udbyttereduktion i procent og tidslers dækningsgrad

$$Y = 100(1 - \exp(-0,0017 \cdot x))$$

hvor Y er udbyttetab i procent og x er tidslernes dækningsgrad i procent.

Der blev fundet en lineær øgning af kornets vandindhold ved høst.

10.3 Fra dronefoto til pletsprøjtning

Det er vist (proof-of-concept), at det kan lade sig gøre at pletsprøjte tidsler på grundlag af tildelingskort dannet ud fra dronefoto. Det har både været muligt at opnå en høj sikkerhed på tidseldetektionen (omkring 95%) og pletsprøjtningens geografiske præcision. Ved anvendelse af en sektionsopdelt sprøjtebom med 3 m sektioner blev der afsat fra 42 – 106% ekstra sprøjtemiddel uden for tidselpletterne i forhold til det angivne areal i tildelingsfilen, og 89 – 96% af det angivende areal i tildelingsfilen blev sprøjtet korrekt. Ved anvendelse af en sprøjte hvor alle dyser kunne tænde og slukke uafhængigt af hinanden, blev der kun afsat 2 – 4% ekstra sprøjtemiddel uden for tidselpletterne. Sprøjteterminalen var dog en begrænsende faktor, da den ikke var hurtig nok til at kunne tænde og slukke præcist, når der blev kørt med blot 2,5 – 3 km/t.

En økonomisk overslagsberegning viser, at der i mange tilfælde vil kunne opnås en positiv økonomisk gevinst ved pletsprøjtning baseret på dronefotos.

11. Litteratur

- Azim S, Rasmussen J, Nielsen J, Gislum R, Laursen MS & Christensen S (2019) Manual georectification to improve the spatial accuracy of ortho-mosaics based on images from consumer-grade unmanned aerial vehicles (UAVs). Precision Agriculture.
<https://doi.org/10.1007/s11119-019-09647-9> (puliceret online)
- Davis S, Mangold J, Menalled F et al. (2018) A meta-analysis of Canada Thistle (*Cirsium arvense*) Management. Weed Science 66, 548-557. <https://doi.org/10.1017/wsc.2018.6>
- Dindorp U (1992) Agricultural applications of knowledge based systems concepts exemplified by a prototype on weed control in organic farming WEEDOF. Beretning / Statens Planteavlsforsøg / nr. S 2201-1992
- Donald WW & Khan M (1996) Canada Thistle (*Cirsium arvense*) Effects on Yield Components of Spring Wheat (*Triticum aestivum*). Weed Science 44, 114-121.
<https://www.jstor.org/stable/4045791>
- Egilsson JG (2014) Detecting weed on images of cereal fields acquired by drones. Master thesis. Department of Computer Science, Faculty of Science, University of Copenhagen, Denmark
- Forero MG, Herrera-Rivera S, Ávila-Navarro J, Franco CA, Rasmussen J & Nielsen J (2019) Color classification methods for perennial weed detection in cereal crops. Lecture Notes in Computer Science (accepted)
- Franco C, Guada C, Rodríguez JT, Nielsen J, Rasmussen, Gómez D & Montero J (2018) Automatic detection of thistle-weeds in cereal crops from aerial RGB images. Communications in Computer and Information Science 855, 441-452.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-91479-4_37
- Gerhards R, Gutjahr C, Weiss M, Keller M, Sökefeld M, Möhring J & Piepho HP (2012). Using precision farming technology to quantify yield effects attributed to weed competition and herbicide application. Weed Research 52, 6–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00893.x>
- Graglia E, Melander B & Jensen RK (2006) Mechanical and cultural strategies to control *Cirsium arvense* in organic arable cropping systems. Weed Research 46, 304-312
- Kirkland KJ (1977) Glyphosate for the control of Canada thistle on summer fallow. Canadian Journal of Plant Science 57
- Lobet G (2017) Image analysis in plant sciences: Publish then perish. Trends in Plant Science 22, 559-566
- Mikkelsen BF, Rasmussen J, Jørgensen RN & Jensen JE (2017) Fra dronelfotos til præcisionssprøjtning. Magasinet Mark, November 2017, 40-41
(https://futurecropping.dk/wp-content/uploads/2018/01/pl_17_3659_Fra_dronefoto_til_praecisions-sproejtning_fra_Mark.pdf)
- Olsen SI, Nielsen J & Rasmussen J (2017) Thistle detection. In: Sharma P, Bianchi FM (Eds): SCIA 2017, Part II, Lecture Notes in Computer Science 10270, 413-425
- O'Sullivan PA, Kossatz VC, Weiss GM & Dew, DA (1982) An approach to estimating yield loss of barley due to Canada thistle. Canadian Journal of Plant Science, 62, 725–731

- Petersen HI (1944) Ukrudtsundersøgelser ved Statens Ukrudtsforsøg i årene 1918-1928. Tidsskrift for Planteavl 48, 655-688
- Rasmussen J (2018a) Fra dronebilleder til nøjagtige dronekort. <https://futurecropping.dk/fra-dronebilleder-til-noejagtige-dronekort/>
- Rasmussen J, Nielsen J, Streibig JC, Jensen JE, Pedersen KS & Olsen SI (2018b) Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* in wheat and barley with off-the-shelf UAVs. Precision Agriculture <https://doi.org/10.1007/s11119-018-09625-7> (published online).
- Rasmussen J, Nielsen J, Streibig JC, Olsen SI, Pedersen KS & Jensen JE (2016a) Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn. Bekæmpelsesmiddelforskning nr. 165. 68 sider. <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2017/jan/droner-tidsler-pletsproejtning/>
- Rasmussen J, Ntakos G, Nielsen J, Svensgaard J, Poulsen RN & Christensen S (2016b) Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? European Journal of Agronomy 74, 75-92. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.026>
- Rasmussen J, Nørremark M, & Bibby BM. (2007). Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. Weed Research, 47, 299–310. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2007.00565.x>
- Sørensen RA, Rasmussen J, Nielsen J & Jørgensen RN, 2017. Thistle Detection using Convolutional Neural Networks. EFITA WCCA 2017 Conference, Montpellier Supagro, Montpellier, France, July 2-6, 2017. Available at: <http://easychair.org/smart-program/EFITA2017/2017-07-03.html#talk:45840>

Droner og sted-specifik bekæmpelse af tidsler før kornhøst

Projektets formål var at afprøve og evaluere alle arbejdsopgaver fra fotografering med drone til pletsprøjtning af tidsler efter digitale kort. Desuden blev der arbejdet med at forbedre billedanalysen til detektering af tidsler, og tidslers udbyttømæssige betydning blev undersøgt. Projektet blev udført i direkte forlængelse af Miljøstyrelsesprojektet, Droner til monitorering af flerårigt ukrudt i korn (2013-2015) (J.nr. 667-00138). Projektet viste, at det er teknisk muligt at detektere tidsler med stor nøjagtighed, samt at ramme dem med sprøjtevæske fra sektionsopdelte sprøjtebomme. De fremstillede tidselkort, havde en nøjagtighed på cirka 95%, hvilket betyder, at kun 5% af markarealerne blev fejlbestemt. Der var tilnærmelsesvis ligevægt imellem tidsler, som fejlagtigt blev bestemt som korn, og korn som fejlagtigt blev bestemt som tidsler. Cirka 95% af de detekterede tidsler blev ramt af sprøjtevæske. De største udfordringer i forbindelse med pletsprøjtning opstod i forbindelse med indlæsning af tildelingskort i de forskellige sprøjte-terminaler. Mangel på standarder udgjorde et så alvorligt problem, at det i enkelte tilfælde måtte opgives at pletsprøjte. Projektet viste, at detektion af tidsler kan forbedres med mere avancerede billedanalysemetoder, og at tidsler har langt mindre udbyttømæssig betydning end tidligere antaget. Som gennemsnit af alle forsøg skulle tidslerne dække 20% af jordoverfladen for at reducere udbyttet med 3%. Pletsprøjtning på grundlag af dronefotos forekommer derfor at være et fremtidigt realistisk alternativ til fladesprøjtning. En økonomisk beregning viser, at der i mange tilfælde vil kunne opnås en økonomisk gevinst ved pletsprøjtning baseret på dronefotos.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk