

Bildanalys som ett redskap för platsspecifik ogräsbekämpning

Inledning

I arbetet som här redovisas har målsättningarna varit att ta fram en enkel och snabb bildanalysalgoritm som skall kunna användas on-line, d.v.s. det skall gå att utföra sprutning samtidigt som bildanalysdata insamlas. Konceptet skall kunna användas för att rutinmässigt ta fram styrfiler, men även för sprutning i realtid. Arbetet har pågått under åren 2005 t.o.m. 2007. Ogräsfördelning inom några olika fält har studerats för att få en uppfattning om hur stora inomfältvariationerna kan vara, vilken betydelse variationerna har för val av ekonomiskt optimal dos bekämpningsmedel och hur kopplad ogräsförekomsten är till markdata. Alla provpunkter har därför läst in med GPS. Vi har även tittat på hur man kan effektivisera insamlandet av bilder och hur dosen kan anpassas med en konventionell spruta.

Bildanalysalgoritmen som utvecklats bygger huvudsakligen på separation mellan växtmaterial och bakgrund (jord, stenar, grenar osv.) via färgskillnader mellan gröda och bakgrund, grödradsidentifiering via Houghtransform samt morfologiska operationer som utnyttjar skillnader i storlek och form mellan grödan och ogräs för att särskilja dessa. Algoritmen byggdes på och förbättrades under hela projektiden och den slutgiltiga algoritmen användes sedan för att studera inomfältsfördelningen av ogräs tidigare år och korrelerades mot manuella provtagningar samtliga år.

Framtaget datamaterial är mycket omfattande så för en mer utförlig beskrivning av projektet hänvisas till en POS-rapport (Precisionsodling Sverige) som kommer att publiceras inom kort. I denna kommer även ett parallellt projekts som bedrivits i Skåne under 2007 och som stötts av Partnerskap Alnarp och SL-stiftelsen att redovisas. I denna rapport har vi valt att beskriva metoden mer översiktligt än i POS-rapport som länk anges till. Inte heller resultatdelen är fullständig, utan vi har valt att här ge exempel och sammanfattningar. Referenser har också utgått från denna korta sammanfattning. För referenser som hänvisas till i texten hänvisas till POS-rapporten.

Material och metoder

Fotografering och GPS positionering

En Nikon D70 digital system-kamera användes för all fotografering i projektet. Kameran har en bildupplösning på 2000 x 3008 pixlar. Kameran kortaste möjliga slutartid är 1/10000 s och dessutom finns olika makrolinser för olika förstöringsgrader. Bilderna sparas direkt i lågkomprimerat jpeg-format för bästa möjliga bildbehandling.

För manuell fotografering som utfördes 2005 och 2006, riggades kameran upp med stativ och försågs med en arm så att den hamnade ca. 1,4 m rakt ovanför rutan som skulle fotograferas. Första året användes en kvadratisk träram på 1 m² ut som markerade området som skulle bearbetas vid bildbehandlingen. Ramen lades ut så att 8 rader kom med innanför rutan. Normalt användes manuell utlösning av kameran med fördröjning för att undvika skakningsoskärpa. Brännvidden sattes till 50 mm och slutartiden varierade beroende på ljusförhållandena, då bilderna togs i befintligt ljus. Vid bildinsamling andra året (2006) användes en något mindre ram på 0,5 x 0,75 m (0,375 m²), ett format som passade bättre för det rektangulära bildformatet. GPS positionerna lästes in med en Mobile Mapper CE (Thales) GPS-mottagare.

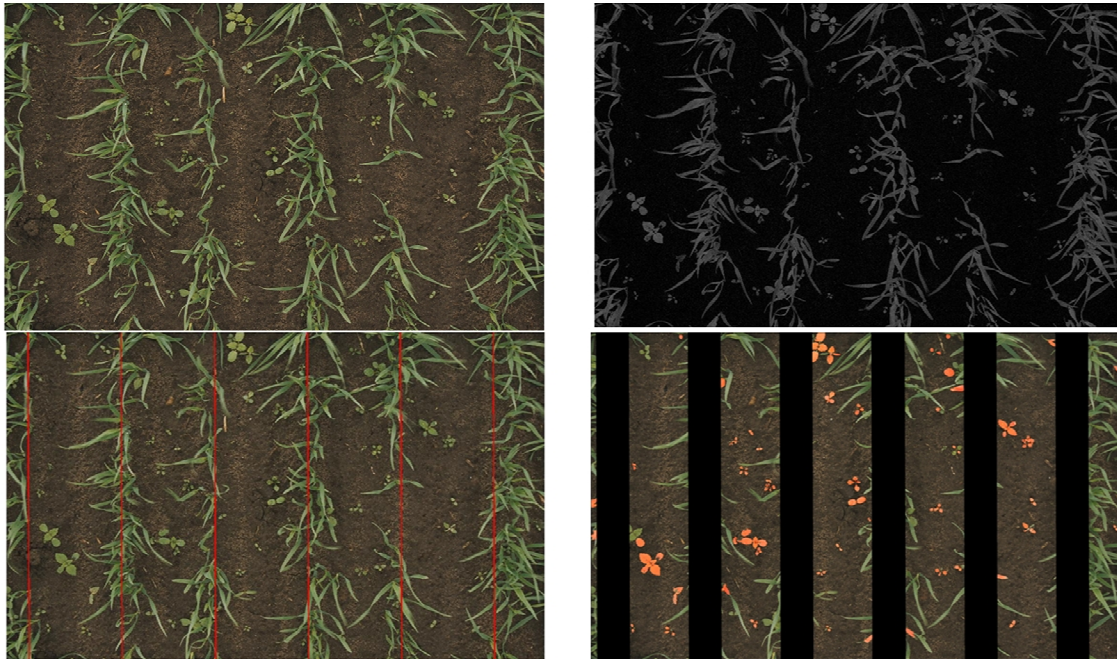
Vid bildinsamling 2007 monterades kameran horisontellt i fronten på en fyrhjulig motorcykel och ca 1,2 m ovanför marken. Kamerans justerbara zoom låstes med tejp för att inte ändras av skakningar i fordonet. Inställningen slutarprioritet användes, med normalt 1/800 sekunds slutartid som vid något tillfälle fick ökas p.g.a. ändrade ljusförhållanden. Bildstorleken var 2000 x 3008 pixlar, vilket motsvarade ca 0,5 x 0,75 m på marken. Samma GPS-utrustning som året innan användes med mjukvaran ArcPad ([ESRI](#)) som skapade en spårfil med fordonets position. Innan bildinsamlingen påbörjades, fotograferades GPS-mottagarens klocka för att göra det möjligt att jämföra GPS-tiden i loggfilen med tidsangivelsen i bildernas EXIF-information (Exchangeable Image File Format – standard för information i bildfiler). Länken mellan bilderna och GPS-position från spårfiler utfördes av Sweco Position med hjälp av en metod som utvecklats av Samor (2005).

Fotograferingen styrdes manuellt via kamerans trådlösa fjärrkontroll. Fordonet kördes parallellt med såraderna och stannades för fotografering, ungefär varje tionde meter. Kördrag för fotografering gjordes med tio meters mellanrum, med justering för att undvika skarvar mellan sådrag. Målsättningen var således att erhålla i storleksordningen 100 bilder per ha, vilket i praktiken blev något färre. Tidsåtgången för att samla in bilderna var ungefär 10 minuter per hektar.

Bildanalys

I första hand var målsättningen att ta fram en bildanalysalgoritm för att bestämma antalet ogräs i en bild. Dosbehovet av ogräsmedel påverkas dock i praktiken av flera faktorer. Förutom antalet ogräs är det även viktigt med information om hur stor markyta ogräsen täcker och även grödans täthet (Jordbruksverket, 2007). Eftersom syftet med bildanalysmetoden var att kunna skapa doseringskartor för platsspecifik sprutning behöver vi med bildanalysen beräkna alla dessa mått. Endast steg 6 skiljer sig åt mellan de olika måtten. De tre första stegen i algoritmen beskrivs i figur 1. Varje steg beskrivs detaljerat i POS-rapporten.

1. Urskilja eller segmentera alla växande gröna plantor från mark och skörderester i bilden.
2. Detektera grödraderna i bilden
3. Identifiera fristående, oftast mindre, ogräs mellan grödraderna.
4. Identifiera objekt mellan grödraderna som enligt steg 3 klassats som ogräs men som egentligen är delar av grödplantor.
5. Identifiera ofta större, plantor som enligt steg 2 klassats som gröda men som är ogräsplantor
6. Räkna fram de olika måtten som ligger till grund för dosberäkning: a) antalet ogräs per ytenhet, b) hur stor yta som täcks av ogräs, c) hur stor yta som täcks av gröda.



Figur 1. Exempel på olika delsteg i bildanalysalgoritmen. Överst till vänster: Originalbilden; Överst till höger: Bilden efter excess green transform där man separerar bakgrund från gröda; Nederst till vänster: Radidentifieringen med hjälp av Hough transform visas som röda linjer; Nederst till höger: De delar som inte har analyserats av algoritmen (grödraderna) visas som svart och detekterade ogräs som röda objekt.

Bildanalysproceduren programmerades huvudsakligen med hjälp av beräknings- och utvecklingsplattformen Matlab (c). Vissa beräkningsintensiva delar av bildanalysproceduren (bl.a. Hough Transformen) programmerades i C++ som är ett lågnivåprogrammeringsspråk och mycket snabbare än Matlab. Dessutom kan man skapa en exekverbar fil som är oberoende av en speciell programvara. Hela proceduren som beskrivits ovan tog ca. 20 s per bild. En bredare applikation av de utvecklade algoritmerna skulle kräva att hela bildanalysproceduren programmerades i C++.

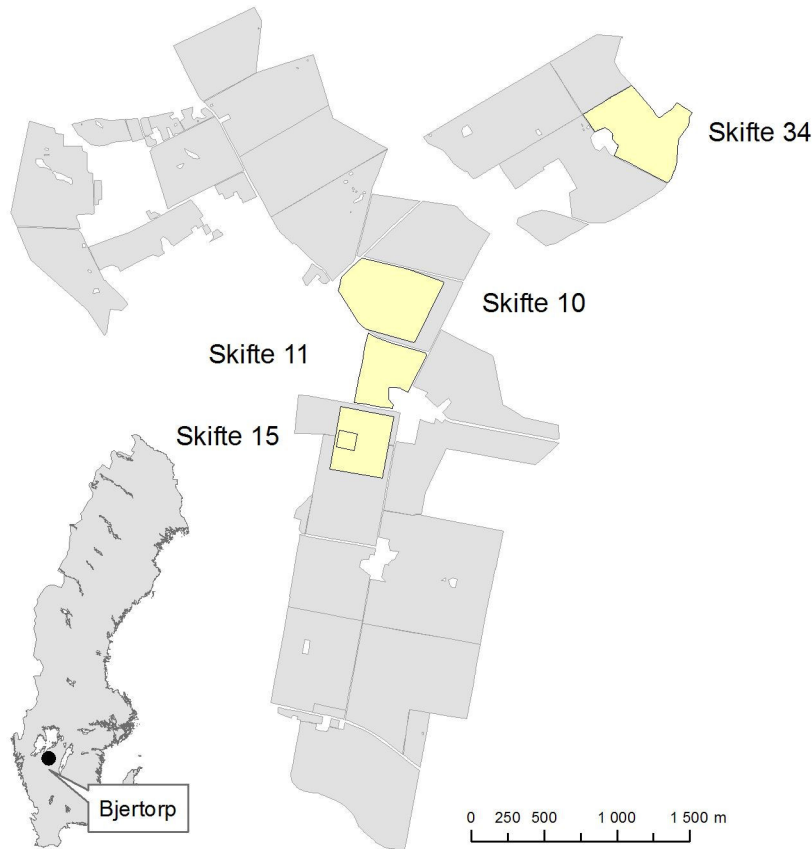
Hantering och analys av kartdata

Alla geografiska data bearbetades i det geografiska informationssystemet ArcGIS 9.1 och 9.2 (ESRI) med programtillägget Geostatistical Analyst. Kartor gjordes med hjälp av kriging som är en geostatistisk interpolationsmetod. En lättillgänglig beskrivning av principerna finns bl a i Clark (1987).

Variogrammet beskriver den spatiala korrelationen mellan observationer som är fördelade över en geografisk yta. I det experimentella variogrammet plottas provpunktspar i olika avståndsintervall mot semivariansen som är medeltalet av den kvadrerade differensen i värde mellan provpunktsparen inom olika avståndsintervall. Vid ett visst avstånd (*range*, R) ökar inte semivariansen längre. Inom detta avstånd finns ett statistiskt samband mellan provpunkter. Osäkerhet i analysvärden eller för glest mellan provpunkter kan ge sig till känna som *nuggetvarians* (C_0). Den nivå där variogrammet planar ut benämns *sill*, C_0+C_1 , vilken ofta ungefär motsvarar den totala variansen i datasetet. En mer utförlig beskrivning av metoden ges i POS-rapporten.

Försöksfält samt manuella avläsningar och provtagningar

Under de tre åren har totalt fyra olika fält på Bjertorp använts, skifte 34 och 15 (2005), skifte 10 och 15 (2006) och skifte 11 (2007) (Figur 2)



Figur 2. Försöksfälten på Bjertorp

Manuella provtagningar och räkningar av ogräs utfördes dels av Hushållningssällskapet i Skaraborg (HS) och dels av medlemmar i projektgruppen.. HS utförde varje år artvisa kontrollräkningar av antalet ogräs per ytenhet och bestämningar av ogräsvikt i ts per ytenhet. I följande text benämns de åtgärder som HS utförde ”kontrollräkningar”. Fösta året 2005, räknades 1m² stora rutor, medan man de följande åren räknade rutor om 0,25 m². De senare åren var därmed den kontrollräknade rutan mindre än den fotograferade rutan, men den räknade rutan ingick alltid i den fotograferade.

Våra egna räkningar som utfördes åren 2006 och 2007 utfördes huvudsakligen på hela den fotograferade ytan (0,375 m²) utom i några fall 2007 med mycket hög ogrästäthet då vi också gick ner till 0,25 m²

2005

Målsättningen med årets arbete var förutom att ta bilder med så stor variation i ogrästäthet som möjligt att studera hur tidpunkten för bildinsamlingen påverkar resultatet. Vi ville också

studera hur kopplad ogräsvariationen är till rumsliga variabler, d.v.s. hur ogräsförekomsten förändras då man rör sig över fältet. Hur kopplad ogräsförekomsten är till markegenskaper började också studeras. Mätningarna utfördes i havregrödor på skifte 15 och skifte 34. På skifte 15 användes sorten Belinda som hade såtts 20/4 och på skifte 34 var sorten Sang och sådatum var 25/4. Bildserier togs vid fyra tillfällen under maj månad (13/5, 20/5, 25/5 samt 30/5) på 12 fastlagda rutor på skifte 15 och på 14 rutor på skifte 34. På skifte 15, där de största variationerna i ogräsförekomst iaktogs, fotograferades även bildserier i två olika rutsystem. Dels lades ett mindre rutnät ut med ett avstånd mellan punkterna på ca. 15 meter och dels ett större rutnät med 50 meter mellan punkterna. Dessutom användes en karta med EM-38 värden, som indikerar jordartsskillnader inom skiftena, vid utläggning av punkterna. I det mindre rutnätet fotograferades den 25/5 (56 punkter) och det stora rutnätet den 30/5 (72 punkter). Den 30/5 när samtliga bilder tagits gjorde HS manuella provtagningar i samtliga 14 rutor på skifte 34 och i 12 rutor på skifte 15.

2006

Huvudsyftet detta år var dels att utvidga bildmaterialet med fler bilder från vårsädens 2-bladsstadium, som vi upplevdes om optimalt för bildanalys utifrån 2005 års resultat. Detta år lades även försök ut som syftade till att studera skillnader i optimal herbiciddos mellan olika fältdelar. Studierna av kopplingar mellan ogräsdata och markegenskaper fortsatte också.

De fält som valdes ut detta år var skifte 15 och 10. Skifte 10 valdes på grund av en relativt stor variation i ogrästäthet och att en tät markkartering gjorts på fältet. Skiftet uppvisar också relativt stor variation i lerhalt (mellan 6 och 24%) och i mullhalt (mellan 2 och 5%).

Även detta år var grödan havre på båda skiftena, på skifte 10 var sorten Kerstin som hade såtts den 27/4 och på skifte 15 Sang som såtts den 28/4. Årets fotografering utfördes den 23/5.

Även detta år valdes rutor med varierande ogräsmängd och jordarter ut för kontrollräkning av HS. På skifte 10 valdes 13 platser ut och på skifte 15 14 platser. På skifte 10 togs dessutom 2 bildserier med fasta avstånd mellan punkterna för att närmare studera inomfältvariationer och samband mellan ogräs och markfaktorer. En bildserie omfattade 102 bilder i ett rutnät med 50 m mellan punkterna och den andra serien omfattade 14 punkter med förtätad provtagning (ca. 15 m mellan punkterna) inom ett område med hög ogrästäthet. Totalt fotograferades 129 punkter på skifte 10. På skifte 15 fotograferades endast 14 punkter, ungefär samma positioner som året innan. Samtliga provtagningar utfördes den 23/5 och 24/5.

Utlägg av försök

För att koppla ogräsmängd till optimal sprutdos lades försök med olika sprutled ut med block (upprepningar) på 3 olika platser på respektive fält. Försöksblocken är markerade med rektanglar i figur 4.. Ett block på vardera fältet placerade i ett område med hög ogrästäthet, ett med medelhög och ett där det var låg ogrästäthet. Fyra olika led användes: obehandlat, 10% av full dos, 30% av full dos och full dos. Som full dos sattes 1 tablett Express. Detta motsvarar rekommenderad dos som brukaren använde vid ogräsbekämpningsinsatsen i den konventionella driften. Inga upprepningar utan endast en ruta per led och plats tillämpades. Försöken sprutades den 6/6 liksom även omkringliggande fältdelar. Vid varje block gjordes en kontrollräkning av HS den 23/5 och den 26/6 gjordes en avräkning av antalet ogräs och ogräsvikter. Rutvisa kärnskördar togs genom att försöksrutorna tröskades med parcelltröska av Svalöf Weibulls personal i samband med ordinarie skörd.

2007

Huvudsyftet detta år var att utifrån en bildserie över fältet göra en doskarta som sedan användes vid platsvis ogräsbekämpning. Bildtagningstätheten ökades dramatiskt detta år för att kunna göra bättre ogräskartor som inte är så känsliga för de felaktigheter som ändå finns i beräkningarna av antalet ogräs i bilderna. En jämförelse mellan manuella mätningar och beräkningar gav att felet i beräkningarna i varje bild ligger på uppskattningsvis cirka 25 %. Effekten av detta fel minskar om mängden bilder ökas. Studierna av att uppskatta variationer i optimal dos mellan olika fältdelar fortsatte också genom att obekämpade nollrutor lades ut.

Försöksfältet var skifte 11 på Bjertorp. Grödan detta år var vårkorn, sorten Gustaf och såtidpunkten 3/4. De punkter som fotograferats uppgick till 814. Dessa var jämnt fördelade över fältet och fotograferades den 9/5 med hjälp av kamera monterad på motorcykel.

Av de 814 punkterna som fotograferade valdes 50 stycken för manuell räkning som utfördes av projektgruppen i samband med fotograferingen den 9/5. På fyra av dessa platser markerades nollrutor på 10 x 10 meter som lämnades obekämpade vid ogräsbekämpningen som utfördes 22/5 (Figur 5). Den 15/5 utförde HS kontrollräkningar som triplikat i de fyra nollrutorna och i 8 andra punkter där vi själva räknade ogräsen.

I nollrutorna gjordes också artvisa räkningar och vägningar av HS efter ca. en månad (26/6) liksom i besprutad yta bredvid nollrutorna. Även här klipptes triplikat som sedan medelvärdesberäknades. I samband med skörden tröskades både nollrutorna och en lika stor ruta bredvid med parcelltröska på samma sätt som föregående år och kärnskorde registrerades

Dosberäkning och preparatval för sprutning 2007

För att beräkna hur dosen bekämpningsmedel skulle varieras användes de tre variabler som räknats fram med hjälp av bildanalysen: antal ogräs, ogräsens täckningsyta och grödans täckningsyta i bilden. Dessa variabler togs även fram för bilder som samlats in under tidigare år för att bedöma inomfältvariation när det gäller ogräsmängd och grödans täthet.

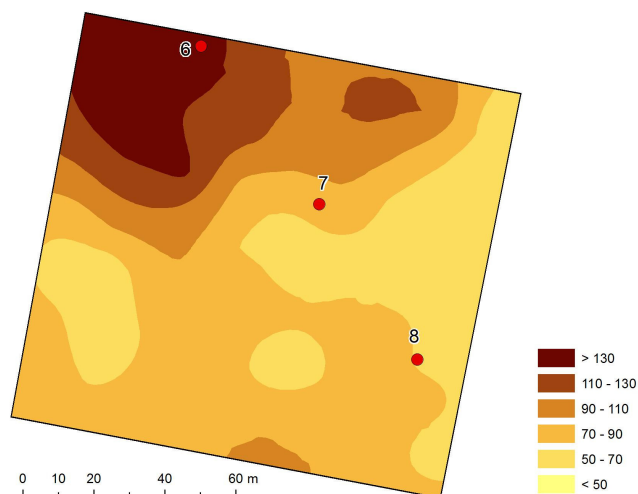
Ett poängsystem utvecklades för att vikta de tre variabelernas inverkan på dosen. Som utgångspunkt för poängsystemet användes Dosnyckel för vårsäd som ingår i Kemisk Ogräsbekämpning 2007 (Jordbruksverket 2007). För närmare beskrivning hänvisas till POS-rapport. För varje fotopunkt beräknades dosen i form av vätskemängd (liter per hektar). Utifrån dessa punkter skapades, genom interpolation ett raster med samma cellstorlek som sprutans arbetsbredd (24 m). Rutnätet anpassades till de körspår som skulle användas vid sprutningen. Filformatet som användes var polygoner i ESRI shapeformat i koordinatsystemet WGS 84. PrecisionWizard (Söderström, 2006) användes för att konvertera styrfilen till sprutans styrsystem. Yara N-Sensor (Yara AB) användes som styrdator.

Sprutan som användes var en Hardi Commander Twin Force med en Hardi Nova. Denna var kopplad till en Yara N-Sensors styrdator som reglerade vattenmängden utifrån styrfilen. De munstycken som användes var vanliga spaltspidare.

Resultat

2005

På skifte 15 var antalet ogräs större i områden med högre mullhalt och lägre lerhalt. Detta illustreras av rutan med förtätad provtagning där man har lättare jord med högre mullhalt uppåt till vänster i bilden (Figur 3).



Figur 3. Antalet ogräs per m² i beräknad med bildanalys i förtätad provtagningsyta på skifte 15.

Bildanalysalgoritmen fungerade sämre för övriga delar av fältet eftersom den sena fotograferingstidpunkten gjorde att grödraderna var svåra att se. Därför bedömdes inte ogräskartan som tillförlitlig för dessa delar av fältet. Den geografiska fördelningen av ogräs och gröda i området följer i stort en nordost-sydvästlig trend som även följer jordartsfördelningen. Nuggetvariansen utgör 20-25% av den totala variansen.

Vid det sista mätillfället var antalet registrerade ogräs generellt låg särskilt på mullrikare och lättare delar av fältet. Detta illustrerar också att grödraderna ”vuxit ihop” vid det sista mätillfället och att bildanalysen därför inte gav tillförlitlig information.

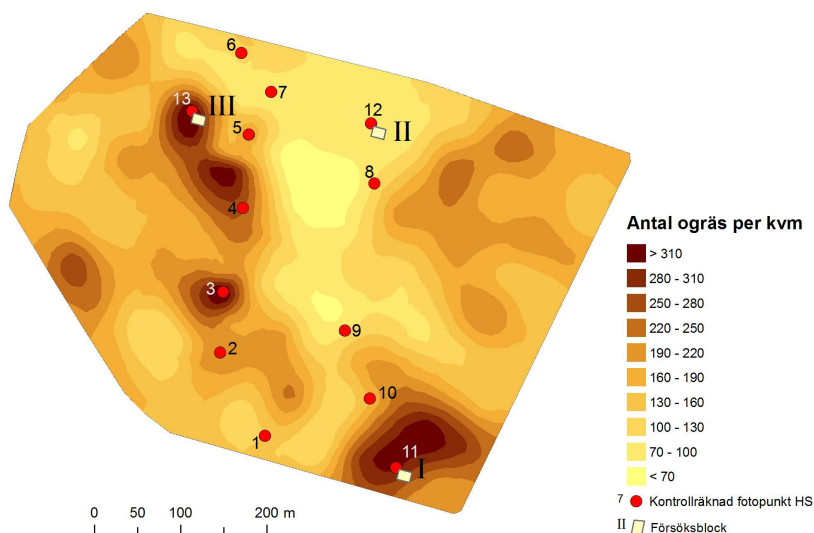
Den manuella räkningen av antalet ogräs visade god överensstämmelse endast med analys av bilder som togs den 13/5 och 20/5, ($r = 0,62$ respektive $0,89$) och den skarpaste gradienten mellan låg respektive hög ogräsmängd/ogräsvikt förelåg längs diagonalen i den rutan med förtätad provtagning (Tabell 1, Figur 3). Skifte 34 uppvisade liknande mönster som skifte 15.

Tabell 1. Ogräsantal och vikter per m² på skifte 15 som graderats av HS 30/5 2005

Rutnummer	Antal	Vikt (g)	Rutnummer	Antal	Vikt (g)
1	205	62	7	194	180
2	212	59	8	41	18
3	87	35	9	38	19
4	111	55	10	30	16
5	165	152	11	143	107
6	177	132	12	95	47

2006

Ogräsen på skifte 10 var framförallt koncentrerat till mindre ruggar (Figur 4).



Figur 4. Inomfältvariation för antalet ogräs per m² beräknat med hjälp av bildanalys på skifte 10 2006.

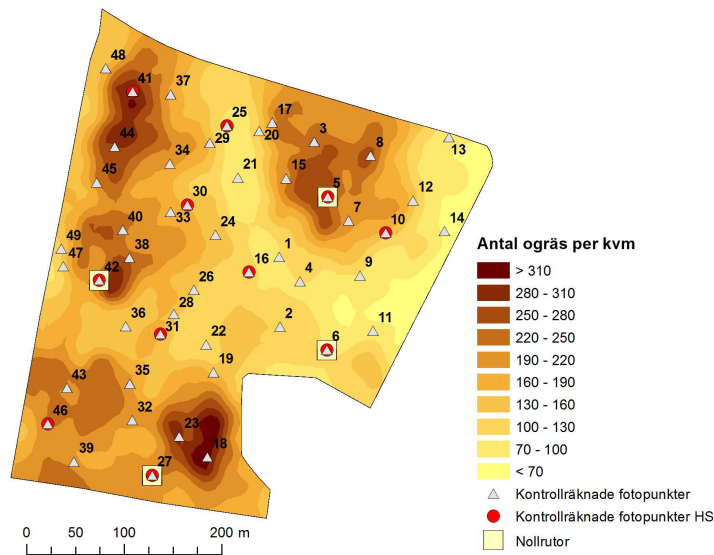
Variogrammen för ogräs och gröda på skifte 10 var mycket osäkra med stor spridning på semivariansvärden i olika avståndsintervall. Det tyder på att provtagningen inte på ett bra sätt fångar den variation som finns. Sannolikt är avståndet mellan observationer (ca 50 m, utom i några områden med tätare mellan provplatser) för stort. Dessutom förekom ogräs ofta fläckvis eller i stråk. Sambandet mellan ogrästäthet och jordart är inte lika tydligt även om det finns ett visst samband mellan hög lerhalt och liten ogräsmängd. Lerhalten är högre i den centrala, norra delen av fältet i närheten av försök II än i övriga delar av fältet. För detta år finns ett stort material för att jämföra manuell ogräsräkning utförd av projektgruppen med bildanalysalgoritmen och detta visar på ett mycket bra samband $r = 0,91$. Antalet detekterade ogräs stämmer också väl överens. HS-räkningar stämde också väl överens med bildanalysalgoritmen. Korrelationen mellan HS-räkningar och bildanalys var 0,87. Den optimala sprutdosen skilde sig mycket mellan försöken som förlagts i områden med låg respektive hög ogrästäthet (Figur 4, Tabell 2). Tyvärr hade bekämpningarna av någon anledning mycket liten effekt och därför är det inte meningsfullt att redovisa resultaten från hela sprutserien. Däremot var skillnaden mellan obesprutat led och fältets normala bekämpning tydligt avhängigt av mängden ogräs på respektive plats på skifte 10 medan skillnaderna inte var lika tydliga på skifte 15 (Tabell 2).

Tabell 2. Ogräsantal och vikt per m² graderat av HS 26/6 2006 och skörd (kg/ha) i obekämpade rutor och normalbekämpat område utanför respektive försöksblock.

BLOCK	LED	Skifte 10			Skifte 15		
		Antal	Vikt	Skörd	Antal	Vikt	Skörd
I	Obekämpat	106	81	2856	51	35	4210
I	Normal dos	11	5	3497	19	5	4074
II	Obekämpat	33	5	4893	57	120	3794
II	Normal dos	25	5	4134	14	8	3824
III	Obekämpat	227	167	3550	22	26	4273
III	Normal dos	8	1	4539	4	0	4537

2007

Inomfältsvariationen för ogräsantal bedömd med bildanalys var stor även detta år (Figur 5).

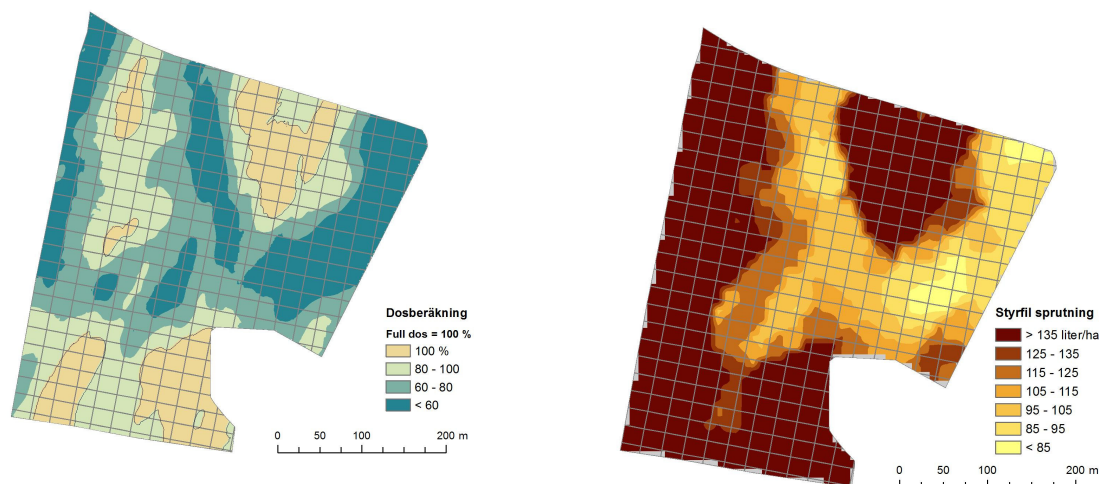


Figur 5. Fördelning av antalet ogräs bedömd med bildanalysen på skifte 11 på Bjertorp 2007 med placering av kontrollräkande rutor och nollrutor inlagda.

Variationen påverkas dels av en väst-östlig trend (med framförallt hög andel bladyta och grödandel i väster) och dels stora jordartskillnader som främst syns i fördelningen av ogräsantal. Nuggetvariansen uppgår till hela 50 % av C_0+C vilket visar att bildanalysdata från intilliggande bilder kan vara ganska olika, även om variation i stort följer de beskrivna geografiska trenderna. Antalet ogräs beräknade med bildanalys stämmer väl överens med både manuella räkningar utförda av projektgruppen och med provtagningar utförda av HS.

Även detta år var det skillnad i spruteffekt mellan fältdelar med mycket respektive lite ogräsmängd. Dock är det svårare att utvärdera då dosen inte varit densamma över hela skiftet. Trots detta var skillnaden mellan obekämpad ruta och normalbekämpat område utanför mindre i områden med lite ogräs än i områden med mycket ogräs. Antalet ogräs beräknade med bildanalys stämmer ganska väl överens med de manuella räkningar utförda av projektgruppen ($r = 0,65$ för samtliga punkter och $r = 0,74$ om punkter med extremt mycket ogräs tas bort). Bildanalysen detekterade färre ogräs än de manuella räkningarna, vilket indikerar något sen provtagningstidpunkt liksom var fallet 2005. Sprutningen enligt den anpassade dosen förbrukade 1895 liter som är en reduktion på drygt

11 % jämfört med normaldosen. Minskningen hade dock blivit större om den ursprungliga dosberäkningen följts (Figur 6a). Jordbrukaren ville t.ex. ge full dos längs den västra fältgränsen och endast minska dosen enligt bildanalysen på de ogräsfattiga, leriga centrala och östra delarna av skifte 11 (jämför Figur 6a och b). Dosen reducerades till slut på knappt halva arealen av fältet, lokalt med som mest upp till 40 %.



Figur 6. a) Dosberäkning enligt beräkningsmodellen baserad på bildanalysdata på skifte 11 på Bjertorp. b) Styrfil för sprutning efter modifiering av dosberäkningen enligt brukarens önskemål och omräkning till vätskemängd.

Slutsatser

- Framtagen bildanalysalgoritm korrelerar i de flesta fall bra mot manuella avläsningar om bilderna tas i tillräckligt tidigt stadium.
- Variationerna i ogräsförekomst tycks i stort sett följa jordartsvariationerna, men avvikelser förekommer.
- Inomfältvariationerna är tillräckligt stora för att motivera platsanpassad bekämpning och mängden bekämpningsmedel kan då sänkas betydligt.
- Bildanalysalgoritmen behöver snabbas upp något för att on-line sprutning skall vara realistisk med tanke på nödvändig provtagningsfrekvens.
- Konventionella sprutor kan användas för platsspecifik ogräsbekämpning