

**Projektets titel**

Ny teknik för bestämning av stående biomassa i energiodlingen

**Projektnummer**

V0840052

**Rapportens författare**

*Anna Rydberg (JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik), Pär Aronsson (SLU, Inst. för växtproduktionsekologi) & Olle Hagner (SmartPlanes, tidigare SLU, Inst. för skoglig resurshushållning och geomatik)*

**Bakgrund**

Vikten av att minska användningen av fossila bränslen har lett till en stor användning av biobränslen. Andelen mark för salixodling har däremot inte ökat i samma utsträckning, trots att salix anses vara den gröda för biobränsle som ger högst avkastning per hektar. Stigande priser på spannmål är naturligtvis en bidragande orsak, men kan inte förklara hela skillnaden. Salix är ett lågintensivt odlingssystem. Liksom för andra grödor skulle en effektiv övervakning av ogräsförekomst under etableringsfasen kunna bidra till att effektivisera ogräsbekämpningen och därigenom sänka skötselkostnaden och/eller öka biomassaproduktionen. Det är även intressant att få nya metoder att utvärdera salixtillväxt över tiden för att utvecklingen av salixodling ska ta ny fart. Att enkelt kunna skatta mängden biomassa under salixens tillväxt skulle kunna innebära bättre förutsättningar att kontrollera etablering efter plantering, tidigare upptäcka sjukdomsutbrott, skadedjursangrepp och näringsbrist samt bättre möjligheter att bedöma när odlingen bör brytas upp p.g.a. luckighet och liknande.

Det rådande svala intresset för salixodling kan antas bestå tills lönsamheten i odlingen påtagligt förbättrats. För att uppnå detta krävs antingen drastiskt sänkta omkostnader för odlingen eller påtagligt högre pris på den skördade flisen. Detta skulle kunna uppnås om odlaren kan garantera specificerade volymer av flis av viss kvalitet och vid en bestämd tidpunkt. Utöver övriga ökade krav på skördemaskiner som kan skörda vid låg bärlighet och i djup snö mm, så kommer en sådan situation också ställa mycket högre krav på skattningar av stående biomassa och användning av tillväxtmodeller för att kunna planera försäljningen av flis. Ur marknadsekonomiska aspekter är det fördelaktigt att veta hur mycket som växer på fältet innan det skördas, dels för att köparen ska kunna säkerställa en viss mängd material och dels för att säljaren ska få möjlighet att själv kontrollera den mängd som faktiskt säljs.

**Syftet med studien**

Syftet med studien är att ge salix en för lantbrukaren mer fördelaktigt betalningsgrund vid försäljning genom att möjliggöra att biomassan i energigrödor kan skattas på ett säkert och billigt sätt redan i det växande beståndet. Det skulle även öka förståelsen för de faktorer som påverkar tillväxten.

Målet var att utvärdera möjligheterna att med ett obemannat flygplanssystem (UAS) bestämma mängden biomassa i växande salixodlingar på ett billigt och säkert sätt. Genom att jämföra oförstörande metoder, som laserscanning och högupplösta flygbilder, med klassiska fältmätningar som mätning av skottdiameter och samtidigt utvärdera systemen mot resultat

från kommersiell skörd, kan en samlad bild över teknikens möjligheter och brister för biomassbestämning av salix att tas fram. Studien skulle undersöka om:

- volymdata från lasermätningar kan ge bättre och mer detaljerad information om stående biomassa i salixodlingar än utspridda, områdesvisa fältmätningar av stamdiameter,
- spektral information från UAV kan beskriva och kvantifiera rumsliga variationer av salixbiomassa, samt om
- avancerade digitala terrängmodeller från UAV, genererade med bildanalys och positionsdata, kan ge information om nivåvariationer i barmark och eventuellt i växande fält.

## Material och metoder

### *Försöksytor*

I studien har sex salixfält som representerar de odlingsförhållanden som kan förekomma inom salixodlingen, med både väl slutna och glesa bestånd, studerats. Några av fälten i studien hade, p.g.a. dåliga vintrar vid planerad skörd, tvingats vänta med skörd och bestod därför av lite grövre stammar än vad som normalt brukar vara fallet vid salixskörd. Fälten slutavverkades vintern 2009. Bestånden antas representera merparten av de kommersiella odlingar som anmäls till skörd och kan möjliggöra en bedömning av teknikens generella användbarhet. En sammanställning av de olika aktiviteter som utförts på fälten i projektet finns i tabell 1.

*Tabell 1. Tidpunkter för olika mätningar i salixfälten.*

LIDAR	UAV	Fältmätningar	Skörd
Augusti 2008	Juni/juli 2008	December 2008	Mars 2009
	Augusti 2008		
	Februari 2009		

## Fältmätningar

Fältmätningar av planhöjd och stående biomassa genomfördes i december 2008. Alla bestånd har mätts in manuellt på marken. I odlingarna A, C, D, E och F, placerades mellan åtta och nio provytor ut systematiskt för insamling av uppgifter, medan det i fält G endast lades ut fyra provytor. Varje provyta bestod av ett 3 m långt avsnitt av en dubbelrad av salix. Antalet levande plantor och höjden av högsta skott i varje provyta mättes in, och placeringen av varje yta bestämdes med vanlig standard GPS.

### *Skattning av biomassa i fält*

Den stående biomassan i varje provtagningsyta skattades genom en kombination av förstörande och oförstörande mätning (Teleius, 1998). Skottens diameter vid 1,0 m höjd mättes med hjälp av ett skjutmått för varje levande skott. För varje salixsort skördes sedan en uppsättning av 20 skott för att fastställa det allometrisk förhållandet mellan skottdiameter och skott torrsvikt enligt ekvation 1:

$$\text{Skott torrsubstans} = a * \text{diameter}^b \quad (1)$$

där a och b är parametrar som fastställdes genom icke-linjär regression. Vid varje provtagning skars skott av och färskvikten fastställdes på plats med hjälp av en elektronisk våg. En 50 cm bit från tyngdpunkten hos varje skott skars då i bitar, vägdes och torkades vid 70° C till konstant vikt.

Den procentuella andelen torrsubstans i varje 50-cm sektion användes sedan för att beräkna torrsvikt på varje provskott (Telenius, 1997). Genom att använda Ekvation 1, kunde skottens torrsvikt beräknas för varje skott i alla provtagningssytor. Den stående biomassan (torrsvikt per hektar) av varje bestånd beräknades sedan genom att multiplicera den genomsnittliga torrsvikten per provyta med den totala längden av växtrader per hektar i varje fält dividerat med längden på den dubbelradiga provytan (dvs 3 m). Avståndet mellan dubbelraderna varierade mellan plantorna, främst beroende på en förändring i planteringspraxis under 1990-talet och det genomsnittliga avståndet mellan dubbelraderna i varje bestånd mättes därför.

### *Skörd av salix*

Med de nya klonerna som kommit har salixen blivit allt grövre och skärbordet har byggts om för att klara grövre stammar, men den klarar inte särskilt mycket snö. Samtidigt har de milda vintrarna försenat skörden för många lantbrukare, som tvingats lämna kvar redan grov energiskog till nästa år för att marken inte varit nog frusen att bära skördemaskinerna. Vinterns kyla gjorde det möjligt att skörda salix för första gången på flera år i försöksområdet, vilket medförde att trycket på maskinerna var mycket hårt. Salixen skördades under fem sammanhängande dagar i mars 2009.

### *UAS*

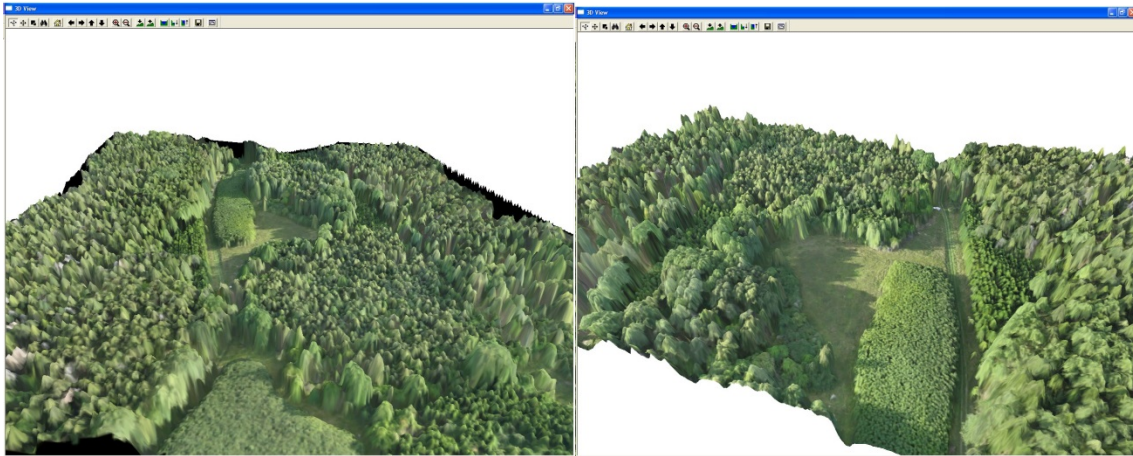
Fjärranalys i form av flyg- och satellitbilder har länge använts inom skogs- och jordbruk för olika prognos- och karteringsändamål. Obemannade flygplanssystem UAS (Unmanned Aircraft System) omfattar flygplan där föraren befinner sig på marken. Fördelarna med att använda ett UAS, istället för traditionella flyg- eller satellitbilder är framför allt operationella och ekonomiska.

Den UAS som använts i detta projekt är ett litet kaststartat obemannat flygplan, SmartPlanes SmartOne-A utrustat med en autopilot och en digital kamera som använts för att systematiskt fånga bilder av sex salixfält från 200 meters höjd vid tre tillfällen (tabell 1). Bilddatum valdes ut för att representera tidpunkten för högst reflektans av grönt ljus från salixblad (juli) och största bladytta (augusti), samt efter lövfällning för kala stammar och bättre kontrast mot marken (februari). Kontrollpunkter på marken mättes in med RTK-GPS.

Systemprogramvaran användas därefter för att automatiskt producera ortofotomosaiker med hög rumslig upplösning och digitala ytmodeller (DSM). Bild 1 visar visualiserade 3D-projektioner från dessa höjdm modeller. Över höjdm modellen är här färginformationen från flygbilderna överlagrad för en ökad bildförståelse.

### *Laserscanning*

Flygburen laserradar, vanligen kallad LIDAR (Light Detection and Ranging) används för att skapa högupplösta 3D-modeller. Dessa modeller kan sedan användas för militära ändamål eller för civilt bruk som vid planering av väg- och järnvägsnät, katastrofsimulering och stadsplanering (Landgård, 2005).



*Bild 1. Vänster: Bilden visar en 3D-visualisering av en höjdmmodell beräknad från UAV-data över de två nordligaste salixfälten med en tittvinkel från norr till söder. Höger: Bilden visar en 3D-visualisering av en höjdmmodell beräknad från UAV-data över det näst nordligaste salixfältet med en tittvinkel från söder till norr.*

Idag finns kommersiella aktörer på marknaden som erbjuder laserkartering av skog. Ett helikopterbaserat system, TopEye (Blom), användes i detta projekt. Systemet kan ge hög noggrannhet i form av antal punkter/sekund, vilket är bra för forskningsändamål då vi undersöker relativt små ytor. TopEyes lasersystem samlar in höjddata med hjälp av en LIDAR-skanner monterad på en helikopter. Omkring 50 000 punkter/sekund registreras och systemet är anpassat för tekniska tillämpningar med särskilt högt ställda noggrannhetskrav. Helikoptern flögs på 60-900 m höjd samtidigt som marken skannas med lasern i elliptiska spiralbanor, vilket gav en punkttäthet upp till 20 punkter/m<sup>2</sup>.

Alla fälten i studien laserscannades under samma dag i anslutning till UAS-flygning nr 2 (Tabell 1). Data har delats upp i dels en markprofil som enbart visar grundnivån, d.v.s. det som betraktas som marken, dels en vegetationsprofil. Även skillnaden mellan mark och vegetationsprofil har räknats fram. Fälten fotograferades även med färgkamera från TopEye och ortofoton över studieområdet togs fram.

## **Databearbetning och utvärdering**

### *RGB-bilder*

Ortofotomosaikerna analyserades visuellt och individuella foton jämfördes även med uppmätt fältdata på marken. Spektrala signaturer från varje enskild bild användes även för att utvärdera användbarheten av färginformationen i bilderna till att identifiera områden med olika sorter och olika mängd biomassa i fälten.

### *Ytmodeller*

Ytinformation från LIDAR-data och UAS samlades om till samma bildpunktsavstånd (1 m) m.h.a. krieging. Höjdinformationen i ytmodellerna plockades fram för samma områden som motsvarade fältmätningarna och jämfördes sedan med i fält uppmätt högsta skotthöjd. I fältmätningarna mättes det högsta skottet, medan ett medelvärde av höjden över provrutan togs fram från LIDAR och UAS.

## Resultat

### Fältmätningar och skörd

De salixodlingar som användes i studien är satta mellan 1991 och 2004 och beskrivs i tabell 2. Klon 78-112 är en ren *Salix viminalis* sort. Klonen Tora är ett förädlad hybrid av *S. viminalis* och *S. schwerinii*, och klonen Orm är en uppfödd av ren *S. viminalis*. En liten del av område D har planterats med sorten Torhild, som är en korsning mellan sorterna Tora och Orm. Sorten Gudrun är en förädlad hybrid av ett svenskt *S. dasyclados* och ett *S. burjatica* av ryskt ursprung.

Resultatet av fältmätningar och skörd presenteras i tabell 3 för de olika fälten. Fält A, C och D innehåller i genomsnitt dubbelt så höga plantor och dubbelt så mycket biomassa som i fält E, F, G. Fälten A och c har inte kunnat skördas i tid beroende på de milda vintrarna som varit tidigare och har därför ovanligt hög skottålder vid tiden för skörd (7 år). Differensen mellan skattad skörd från fältdata och faktiskt uppmätt skörd ligger mellan 2 och 26 % utom för fält F som är det minsta fältet. Differensen där uppgår till hela 60 %.

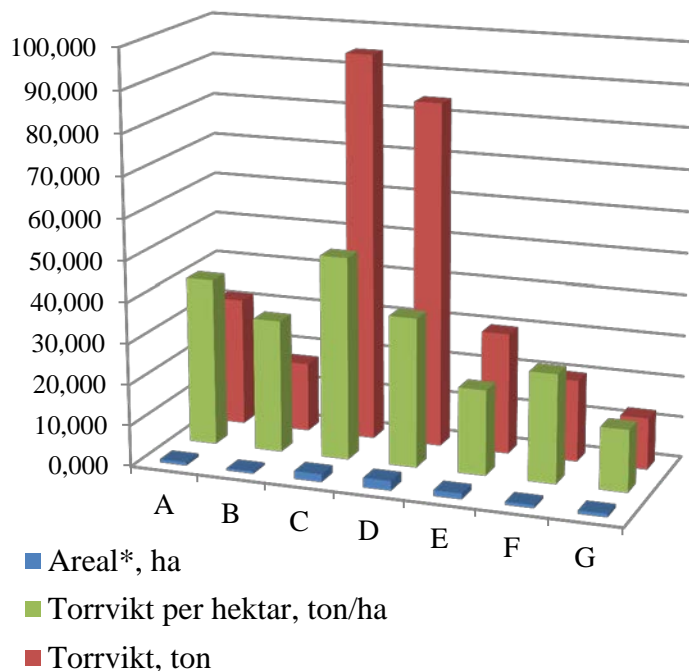
I bild 2 presenteras uppmätt skörd för varje fält. Den största variationen av biomassa inom enskilda fält hittar vi i fälten C och D medan höjden varierade mest i fält G.

Tabell 2. Beskrivning av de salixodlingar som ingår i studien.

Bestånd / fält	Storlek (ha)	Sort / klon	Plantering år	Shoot ålder (år)
A	0,76	78-112	1992	7
C	1,81	78-112	1991	7
D	2,16	Tora (Torhild)	2001	3
E	1,39	Orm	1994	3
F	0,69	Gudrun	2004	4
G	0,83	Gudrun	2004	4

Tabell 3. Medeltal (och standardavvikelse) för uppmätt maximal salixhöjd och torrdenstet på biomassa inom de olika fälten, jämfört med faktisk biomassa från skörd.

Fält	Höjd	Fältmätt (T/ha)	Skördat (T/ha)	Diff	Diff %
A	7.6 (0.6)	51.2 (8.0)	40,83	10.37	25.4
C	8.3 (0.6)	60.6 (17.2)	49,37	11.23	22.7
D	8.3 (0.3)	45.3 (12.2)	36,53	8.77	24.0
E	4.8 (0.5)	15.4 (8.0)	20,89	-5.49	-26.3
F	4.7 (0.5)	10.7 (5.0)	26,63	-15.93	-59.8
G	4.5 (1.3)	14.9 (9.7)	15,16	-0.26	-1.7



*Bild 2. Total skörden per fält och genomsnittlig skörd per hektar. Fält B ingick ursprungligen i studien, men uteslöts sedan p.g.a. sin långsmala form vilket medför en risk för stora kanteffekter.*

#### *Spektrala analyser av UAS-bilder*

Spektrala skillnader i bildmaterialet kunde identifieras mellan några av klonerna som ingick i studien (bild 3). Klonen Gudrun (fält F & G) skilde sig markant i färg från de övriga klonerna i studien, men övriga kloner skiljde sig också något åt. I fält D, hade två olika sorter planterats inom samma fält (klonerna Torhild och Tora) och även när storleken på plantorna var den samma för de båda klonerna kunde bildinformationen användas för att skilja de två klonerna från varandra då de förekom i tillräckligt stor mängd. Fältmätningarna avslöjade att en enkel dubbelrad av Torhild hade planterats i Tora-delen av fält D, men denna dubbelrad kunde däremot inte återfinnas i bildmaterialet.

Stora spektrala skillnader kunde också uppstå i bilderna mellan plantor i olika utvecklingsstadier. Sådana spektrala skillnader identifierades inom fält G, där endast en salixklon var representerad. Inom detta fält var det stor variation av mängden biomassa, vilken troligtvis beror på variationen av jordarter inom fältet, och denna variation i biomassa gav upphov till liknande färgvariationer som mellan olika kloner. Bättre tillväxt vid dräneringsledningarna syns tydligt i bildmaterialet (bild 3) liksom viltangripen salix.

Det finns en tydlig variation i textur mellan bilder från fält med varierande biomassa. Radstrukturen syns tydligt i områden med låg biomassa (fält E), medan den blir mindre distinkt med ökande biomassa (fält D) för att inte synas alls i fält C som hade högst biomassa. Synligheten av radstrukturen och dess starka förhållande till biomassa är en parameter som inte är särskilt känslig vare sig för plantans ålder, klon eller varierande bildkvalitet.

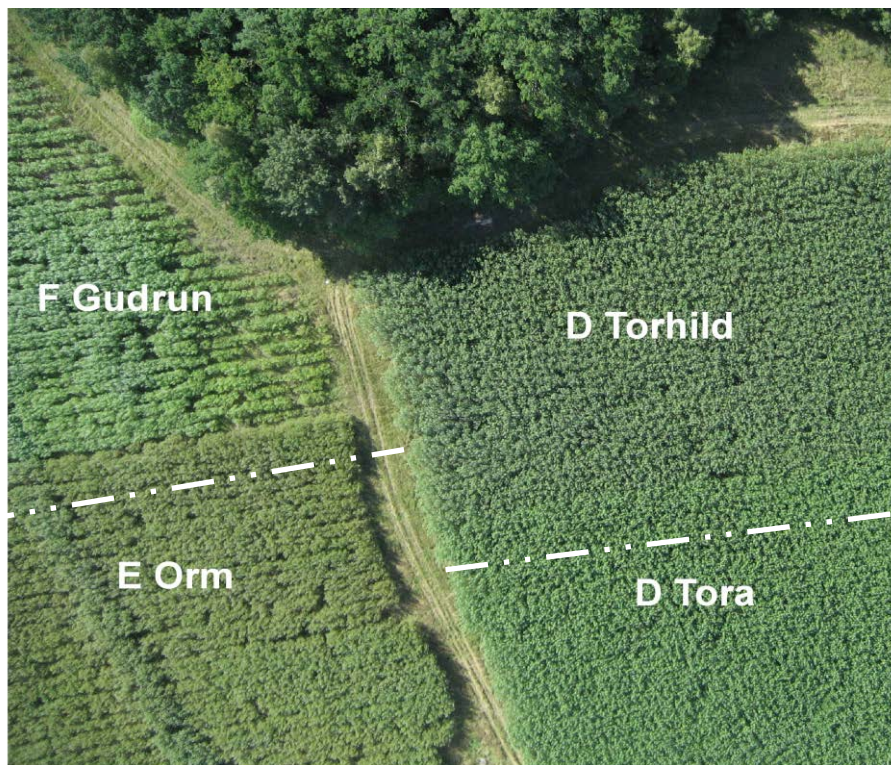


Bild 3. UAS-bild av olika salixkloner. Pilen visar en dräneringsledning.

#### Höjddata från laser- och UAS-mätningar

Generellt uppmättes högre höjder i ytmodellen genererad med UAS, jämfört med den genererad av LIDAR. I båda ytmodellerna uppmättes lägre höjder än i fält, där enbart det allra högsta skottet hade mätts upp. I bild 4 till vänster presenteras ett exempel på uppmätt maxhöjd i fält, jämfört med höjd över samma område mätt med UAS och med LIDAR. UAS-höjden ligger närmare Hmax än LIDAR som visar en betydlig lägre övre höjd än UAS. Bilden till höger visar ytmodellen från UAS över för hela fältet (G), vilket ger betydande information om de variationer i biomassa som förekommer inom fältet.

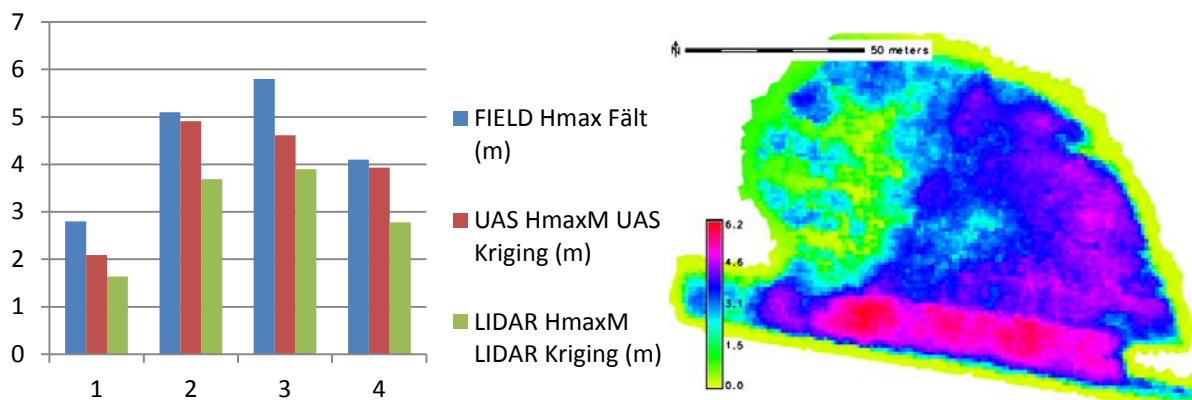


Bild 4. Vänster: Ett diagram över den maximala höjden uppmätt i ett fält (blått) med medelvärde av den maximala höjden uppmätt över provrutan med UAS (röd) och med LIDAR (grön). Höger: Höjdinformation i ett fält uppmätt med UAS, där gult visar låg höjd och röd hög höjd.

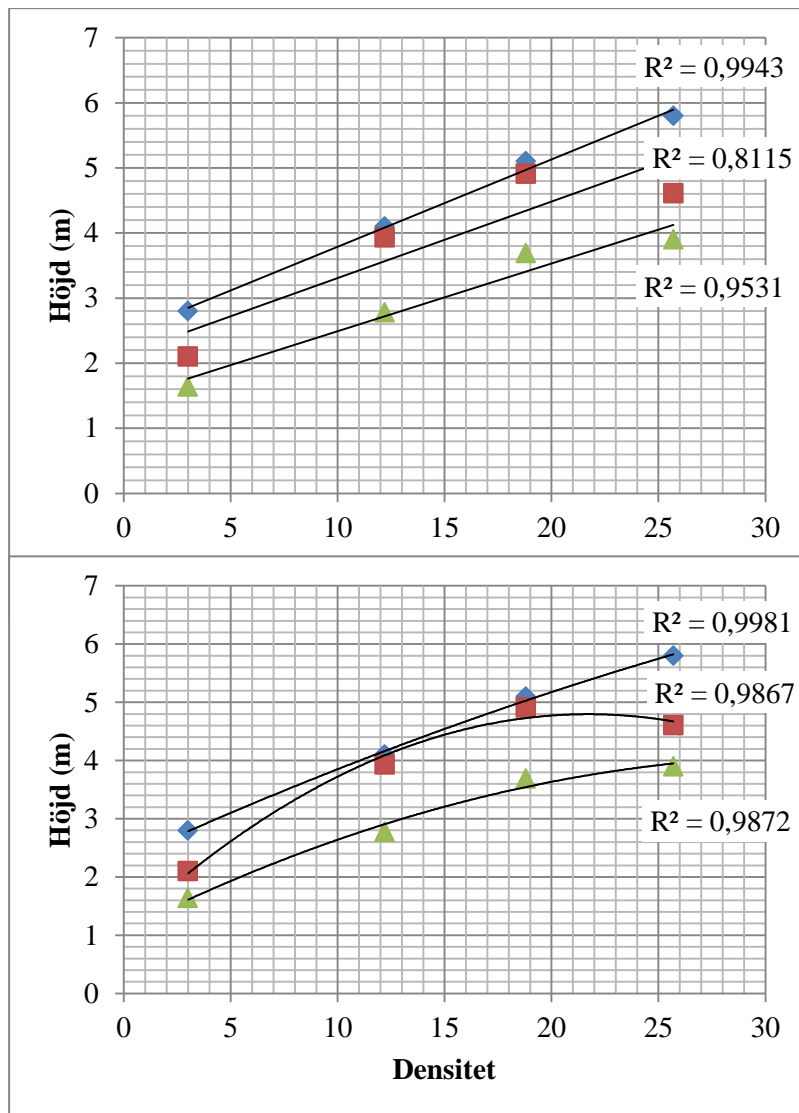


Bild 5. Hmax (blå), UAShöjd (röd) och LIDARhöjd (grön) plottade mot densiteten (ton TS/ha) vid respektive provplats, och anpassade med dels en linjär (övre bilden) och dels en andragradsekvation (undre bilden).

I bild 5 illustreras hur höjden på beståndet förhåller sig till mängden biomassa för fält G. Det linjära sambandet mellan höjd och uppmätt biomassa är bäst för Hmax i provytan, följt av LIDAR med UAS något sämre. Om ett andragradens polynom anpassas till data blir förhållandet i stort sett detsamma, men då blir skillnaden mellan UAS och LIDAR i stort sett obefintlig.

## Diskussion

Färginformationen i bildmaterialet varierade kraftigt med olika bildvinklar och tidpunkter för flygning, vilket påverkade färgsammansättningen i mosaikerna. Men mosaikerna var ändå användbara för att undersöka textur. Vegetationen på marken är mer synlig i de öppnare delarna, vilket ökar de spektrala skillnaderna mellan delar av hög och låg salixdensitet.



Både UAS och LIDAR tillför information om beståndets variation i biomassa, jämfört med enstaka fältmätningar. UAS-ytmodellen ger en höjdinformation som ligger närmare fältmätningarna än vad LIDAR-ytmodellen gör, beroende på att laserpunkterna tränger igenom lövverket och ger signal tillbaka när det träffar en gren, medan UAS-ytmodellen reagerar på lövverket. Sommarbilderna från UAS är därför bättre att använda till ytmodell över salixvariationen än vad vinterbilderna är. Däremot kan det vara svårt att skatta marknivån i fältet i sommarbilderna och då är vinterbilder över barmark att föredra.

Studien har visat att variationer i biomassa går att mäta, men hur noggrant och vilka parametrar som inverkar mest på energimängden återstår att utreda. Vid en densitet på över 20 ton/ha verkar sambandet mellan höjd och densitet sjunka, men om den indikationen stämmer säkert är inte klarlagt här.

Genom att kombinera ytmodellen med färginformation kan ytterligare information erhållas. I den här studien har de bägge parametrarna undersökts var för sig, men genom att kombinera informationen kan man troligtvis komma ytterligare ett steg.

### **Publikationer**

- Landgård, J. 2005. Segmentering och klassificering av LiDAR-data. Examensarbete utfört i Reglerteknik. Institutionen för Systematik. Linköpings universitet.
- Telenius, B.F. 1997. Implications of vertical distribution and within-stand variation in moisture content for biomass estimations of some willow and hybrid poplar clones. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12, pp 336-339.
- Telenius, B.F. 1998. Assessment of dimensional relations and early production in fast-growing deciduous tree species. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 50. Dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. ISBN 91-576-5334-8.

### **Slutsatser**

Digitala ytmodeller genererade med bildmaterial från ett UAS, kan ge information om nivåvariationer både i barmark och i växande gröda. Ytmodellerna ger en bättre överblick över variationen i biomassa över fältet än vad enstaka fältmätningar kan göra. Däremot behöver modeller tas fram som för att skatta korrekt mängd biomassa i fält, där hänsyn tas till skattningsnoggrannheten vid olika densiteter.

Textur i bildmaterialet ger information om homogeniteten i fältet och på om etableringen misslyckats eller om det av någon annan anledning finns platser i fältet där ingen salix växer. Graden av slutenhet som uppträder kan variera mellan kloner, även om det inte observerades i dennas studie. Slutenheten når förmodligen också ett mättnadsstadium där skillnader i biomassa inte längre ger en ökad slutenhet i beståndet.

### **Resultatförmedling till näringen**

Resultaten från de spektrala analyserna har resulterat i ett konferenspaper till Joint International Agricultural Conference (JIAC) 2009 i Wageningen i juli 2009 som även presenterades muntligt på konferensen.

**Rydberg, A.,** Hagner, O., Aronsson, P., & Söderström M. 2009. Mapping spatial variation in growing willow using small UAS. From: Henten, E.J. van, D. Goense and C. Lokhorst, 2009.

Precision agriculture '09. Proceedings of the 7th European Conference on Precision Agriculture, Wageningen, the Netherlands, 6-8 July 2009, pp. 485-492.

Projektet har också presenterats vid en workshop 2010 i Enköping som anordnades av Värmeforsk kring pågående projekt inom Salixodlingen, samt vid en UAS-dag på Vreta Kluster i Östergötland den 22 maj 2014.

Resultaten kommer att publiceras i en längre version i JTI-rapport 425 under hösten 2014. I samband med det kommer JTI att gå ut med en webnotis kring projektet som med största sannolikhet kommer att resultera i populärvetenskapliga artiklar i lantbrukspressen. Länk till webnotisen inkommer till SLF då den skickats ut.