

På väg mot det nya jordbruket – kväverekommendationer och grödstatuskartering inom fält genom en kombination av satellitdata och N-sensorer

Mats Söderström, SLU

Bakgrund

Satellitbaserad övervakning av grödor har varit en av de kommersiella satelliternas huvudsakliga användningsområden allt sedan uppskjutningen av Landsat i början av 70-talet. Till exempel biomassa, klorofyllkoncentration och kväueupptag har kunnat beskrivas med spektrala index. På många håll i världen är förekomst av moln och dis så frekvent att mer tidskritiska tillämpningar baserade på satellitdata inte fungerat särskilt bra. Under senare år har nya aktörer och satelliter tillkommit på marknaden som kan leverera data nära nog varje dag över varje del av Sveriges åkermark. Det huvudsakliga målet med projektet var att undersöka möjligheten att utveckla satellitdatabaserade underlag för kompletteringsgödsling av höstvet. Centrala frågor som behandlades var: kan man få tillgång till tillräckligt många satellitbilder; hur viktigt det är att bilderna är nya; vad visar satellitbilderna i förhållande till N-sensorer; hur tar man fram gödslingsråd från satellitdata? Ett fungerande system skulle kunna leda till minskade växtnäringens förluster, ökad skörd och förbättrad kvalitet på den skördade spannmålen. Projekt genomfördes under 2013-2014, samt med en fortsättning via finansiering från Greppa Näringen och Agroväst Livsmedel AB under 2015.

Material och metoder

Fyra delområden i södra Sverige avgränsades (markerade i Figur 3) vilka utgjorde fokusområden. I användarapplikationen som utvecklades inför säsongen 2015 var dock målet att täcka in all åkermark upp till i höjd med Gävle. Under 2013 genomfördes de första satellitbildsinköpen och ett tjugotal lantbrukare i olika delar av Sverige bidrog med loggfiler från skanning och gödsling med traktorburen Yara N-Sensor för jämförelser. Under 2014 utvecklades på försök en webapplikation i samarbete med DataVäxt AB i Grästorps, som fritt kunde användas av alla. Användarna fick möjlighet att skapa kvävebehovskartor baserade på satellitdata och ladda ned tilldelningsfiler som gick att använda för att styra gödselspridaren. Applikationen var fullt funktionsduglig under kompletteringsgödslingssäsongen 2014, och rönt stort intresse och mycket uppskattning. Detta ledde till att externa medel satsades inför 2015 från Greppa Näringen och Agroväst Livsmedel AB, och systemet förfinades något under namnet CropSAT (Figur 1).

Satellitdata kom i huvudsak från den brittiska satellitdataleverantören DMCii Ltd (UK). Man prenumererar på data som kan tillhandahållas med en eller två dagars mellanrum om vädret tillåter. DMC-data registreras i tre band med 22 m spatial upplösning: grönt (G; 520-600 nm), rött (R; 630-690 nm) och nära infrarött (NIR; 770-900 nm). I indexen som användes utnyttjas endast NIR och R (Ekv. 1-3). Även gratis Landsat-8-data användes som komplement när så var möjligt.

Våglängdsbanden i Landsat 8 skiljer sig delvis från DMC: R (640-670 nm) och NIR (850-880 nm). Det vegetationsindex som vi valde att använda i CropSAT var MSAVI (modified soil adjusted vegetation index; Ekv. 3). Annars är det vanligast använda indexet NDVI (normalized difference vegetation index; Ekv. 1). Med indexen reduceras till viss del olika typer av brus och störningar i satellitdata, och jämförelser mellan olika mätningar underlättas. Indexen utnyttjar det faktum att klorofyll absorberar rött ljus (R) medan en tät, frodig gröda reflekterar nära infrarött ljus (NIR). Före beräkning av index räknades råa satellitdata om till reflektansvärden.

$$\text{NDVI} = [(NIR - R) / (NIR + R)] \quad (\text{Ekv. 1})$$

$$\text{SAVI} = [(NIR - R) / (NIR + R + k)] * (1 + k) \quad (\text{Ekv. 2})$$

$$\text{MSAVI} = (2NIR + 1 - \sqrt{[(2NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - R)]}) / 2 \quad (\text{Ekv. 3})$$

Ekvation 2 och 3 är varianter av Ekv. 1 där man försökt kompensera för effekter av reflektans från marken om det är tunn gröda. I Ekv. 2 är k en korrektionsfaktor som varierar mellan 0 (hög vegetationstäckningsgrad) till 1 (låg täckningsgrad), ofta användes värdet $k = 0,5$. I Ekv. 3 sker inget antagande (eller beräkning) av k. Jordbruksverkets blockkarta från 2013 används för att avgränsa åkermark. Pixlar med moln och molnskuggor samt pixlar inom 15 m från blockgränser togs bort.

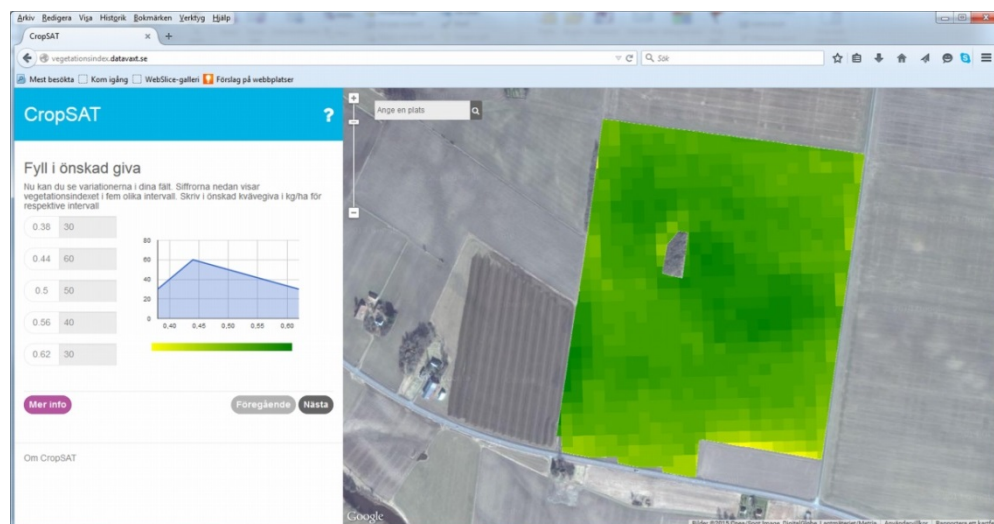
Under 2015 gjordes jämförelser mellan satellitindex och N-upptag i fält beräknat från handburen N-sensor (Yara AB, Landskrona). Fältmätningarna utfördes av Greppa Näringens inom ramen för mätningar i nollrutor i fält i Västergötland och Skåne (ca 25 fält). Greppa Näringens mätningar gjordes dels i nollrutorna och dels i det omgivande fältet i närheten av nollrutan. I våra jämförelser användes de senare. Korresponderande satellitindexvärde beräknades som medeltalet för de pixlar som låg inom ett avstånd på 15-30 m från koordinaten för nollrutan, om fältdatum skiljde max två dygn från satellitdatum. Själva nollrutan är för liten för att synas i satellitbilden.

Förutom satellitdata från DMC införskaffades 2013-05-28 även en annan typ av satellitdata (WorldView-2 (WV-2) från Digital Globe, USA) för ett litet geografiskt område i Västergötland som innefattade försöksgården Lanna där det fanns ett gödslingsförsök där mätningar gjordes med olika handburna sensorer: N-Sensor (Yara); Greenseeker (Trimble, USA) och Multiplex 330 (Force-A, Frankrike). Greenseeker räknar ut ett NDVI-värde medan Multiplex arbetar med fluorescens och bl a räknar ut ett klorofyllindex (SFR_R). WV-2 har hög spatial upplösning (2 m multispektralt och 0,5 m pankromatiskt) och många våglängdsband med fokus på vegetationsstudier: kort blå (400-450 nm), blått (450-510 nm), grönt (510-580 nm), gult (585-625 nm), rött (630-690 nm), red edge (705-745 nm), NIR-1 (770-895 nm), NIR-2 (860-1040 nm). Rött och NIR-1 är spektralt relativt lika motsvarande band i DMC varför resultaten kan vara vägledande även för samband mellan DMC och grödegenskaper. Med WV-2 testades möjligheten att använda högupplösta satellitdata jämfört med handburna punktmätningar i vanliga försöksparceller.

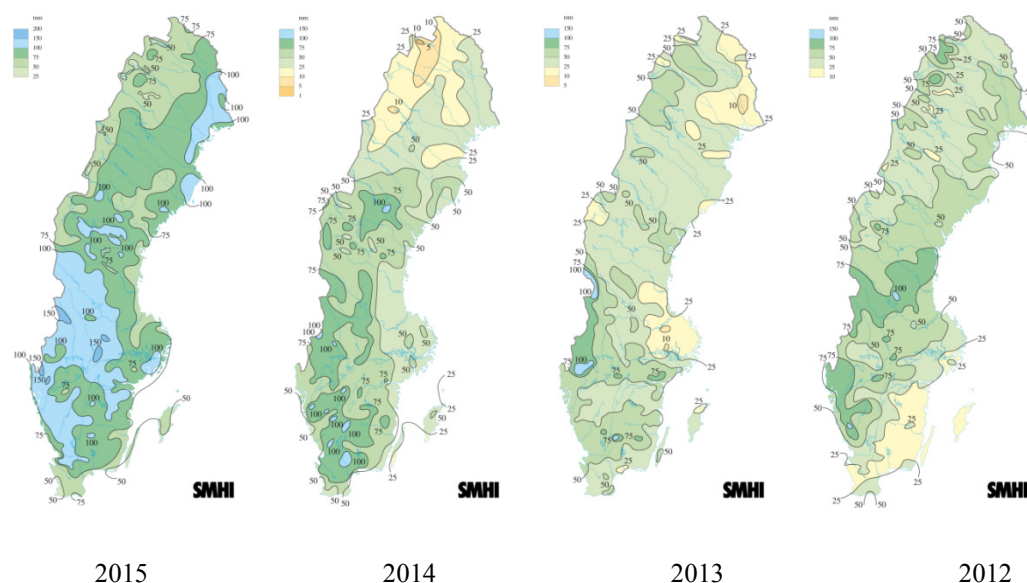
Resultat och diskussion

CropSAT

Användargränssnittet i CropSAT visas i Figur 1. Under perioden 22 april till 18 juni 2015 skapades drygt 4000 CropSAT-kartor av användare runt om i landet. Något mer än 1500 tilldelningskartor laddades ned (enl. DataVäxt AB). Vädermässigt var perioden 2015 utmanande vad gäller insamlande av satellitdata med hjälp av optiska satelliter över södra Sverige (Figur 2).

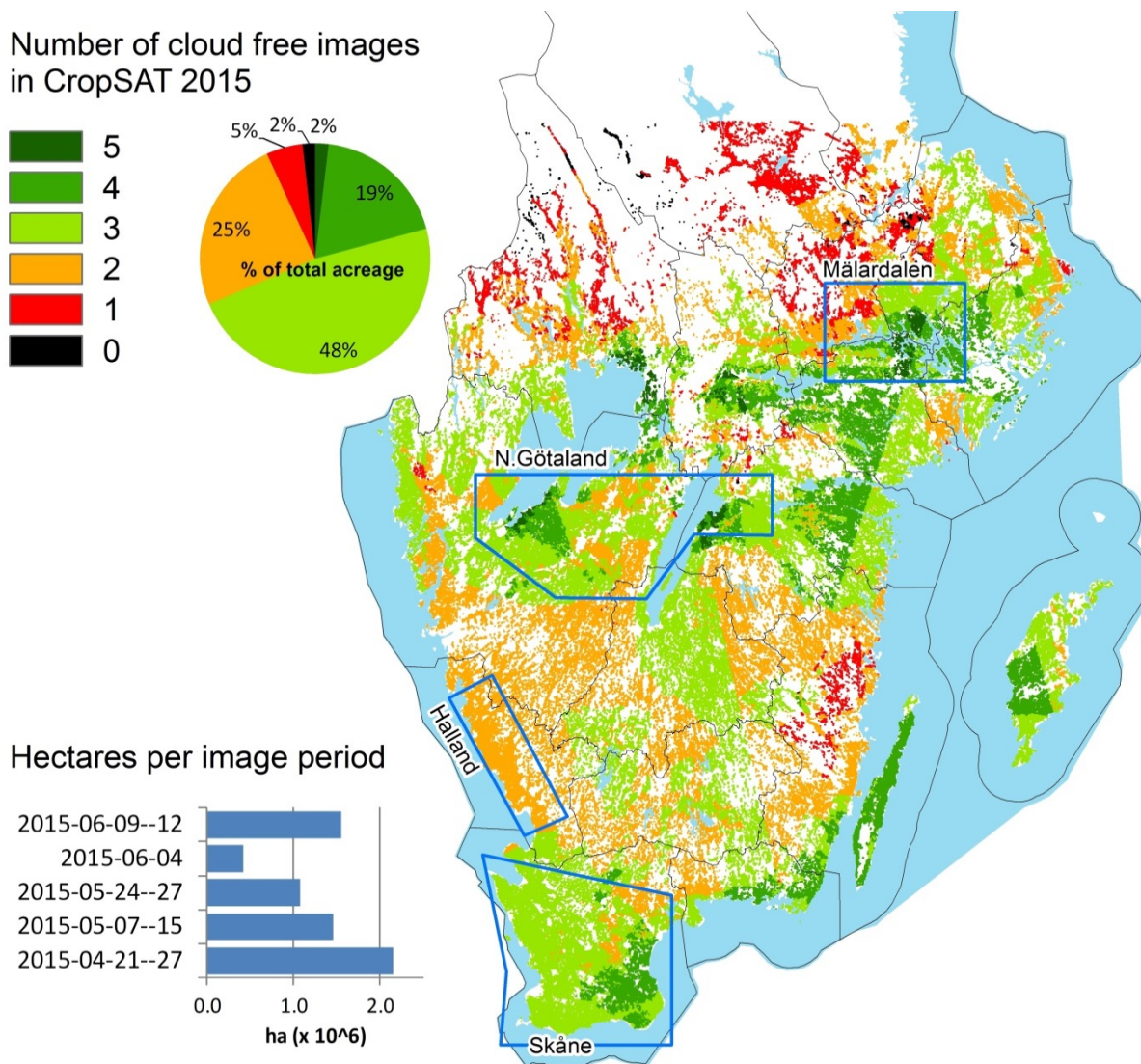


Figur 1. I CropSAT kan användaren själv ange vilken kvävegiva man vill ge till vegetationsindexkartans olika delar. Man kan spara ner behovskartan i form av en datafil som kan användas i många traktorer. En testversion som kördes under 2014, förfinades och tillgängliggjordes under 2015 med medel från Greppa Näringen och Agroväst Livsmedel AB. Programmeringen utfördes av DataVäxt AB som också härbärgerar alla data. Applikationen nås via cropsat.se.



Figur 2. Nederbörd under maj 2012-2015 (kartor från SMHI). Under 2015 var maj ovanligt molnig och regnig i södra Sverige, vilket begränsade antalet molnfria satellitscener.

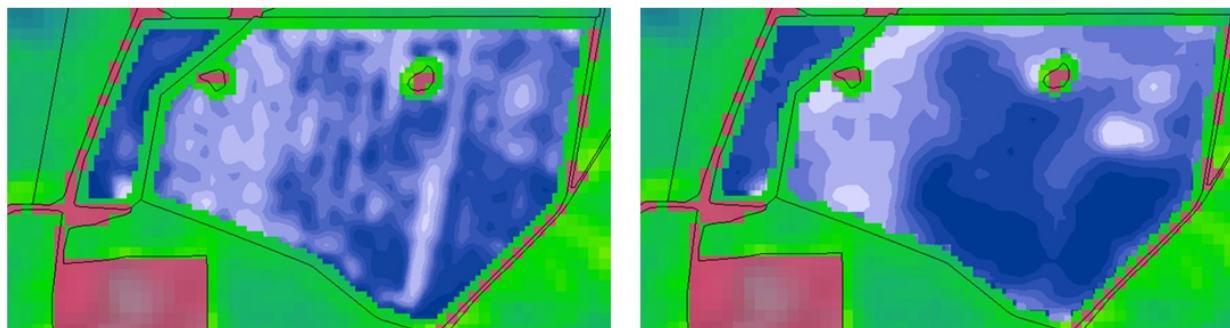
Under testperioderna 2013 och 2014 var det betydligt fler molnfria tillfällen. Trots mycket regn under maj 2015 (till exempel noterade SMHI Stockholms regnigaste majmånad på 200 år) gick det att få fram flera molnfria satellitbilder för större delen av södra Sveriges åkermark även det året (Figur 3). Flest användbara bilder var det i delar av Mälardalen (upp till 8 bilder). Störst problem 2015 var det i Halland där endast två användbara bilder kunde erhållas för en stor del av åkermarken. För 2/3 av åkerarealen söder om Gävle fanns minst tre bilder (Figur 3).



Figur 3. Antal molnfria satellitbilder per jordbruksblock i CropSAT under 2015. De fyra fokusområdena i SLF-projektet är markerade. Bilderna har här grupperats i olika tidsperioder (anges nere till vänster) så att endast bilder med flera dagars mellanrum räknas. Den procentuella andelen av den totala åkerarealen (2,4 miljoner ha enligt jordbruksblocken 2013 från Gävle och söderut) för olika antal bilder anges i cirkeldiagrammet, och den totala arealen för de olika tidsperioderna anges i det liggande stapeldiagrammet.

Satellitindexkartor i jämförelse med kartor från Yara N-Sensor

Om man gör visuella jämförelser mellan variationen i N-sensorkartor och satellitindexkartor överensstämmer dessa i stora drag med varandra (ett exempel visas i Figur 4).



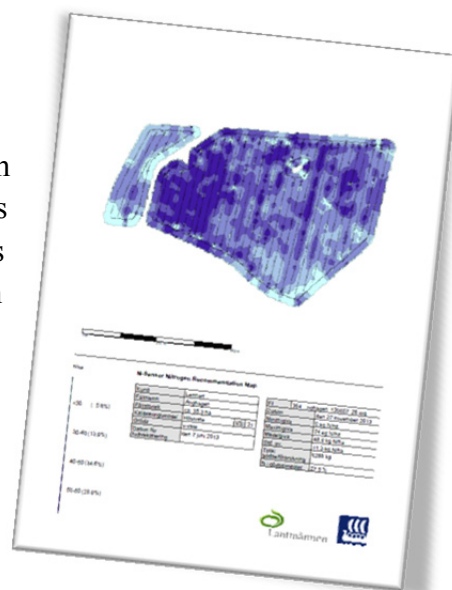
A) SN-index från Yara N-Sensor, bestämmer N-givan

B) Satellitindex 13-06-06

C) Nedan: N-spridning med Yara N-Sensor

Figur 4. Vetefält i Halland, 35 ha. Exempel på jämförelse mellan Yara N-Sensor och satellitindexkarta. Mörkblått är högst värde. I C visas utförd kvävespridning av Yara N-Sensor. N-sensordata från 13-06-07.

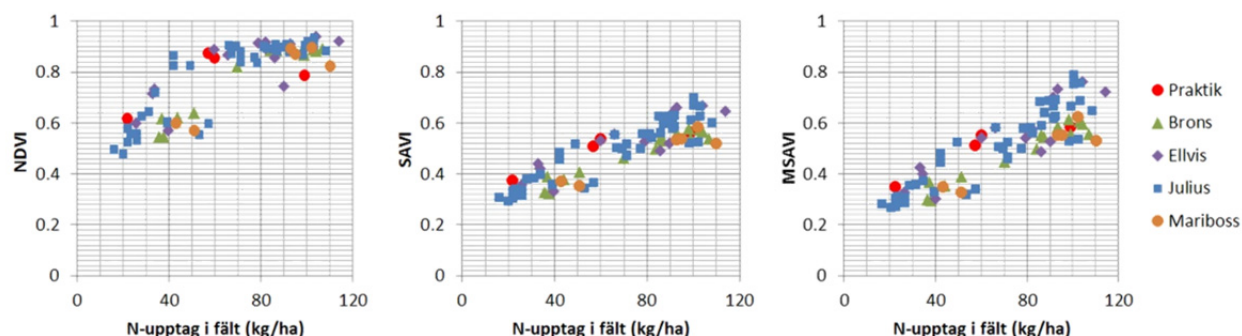
Det är större detaljrikedom i N-sensorkartorna eftersom traktorskanningen ger betydligt fler mätvärden längs kördragen. Dessutom finns normalt N-sensordata längs fältgränserna vilket gör att det är lättare att få kartbilder som helt täcker hela fältet. Satellitdata påverkas mycket om olika markslag finns med i pixlarna. I satellitindexkartorna valde vi att ta bort alla pixlar med centrpunkten <15 m från blockgränser för att minska influens från omgivningen (framgår i Figur 4). I CropSAT extrapoleras sedan kvarvarande indexvärden så att fältet täcks.



Handsensormätning i jämförelse med satellitindexkartor - beräkning av kväveupptag

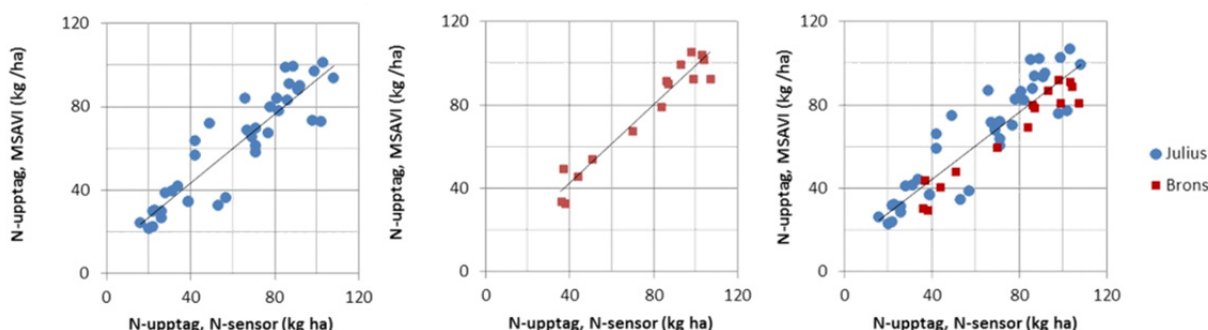
Kalibrering av satellitdata med handsensormätningar i fält

I Figur 5 visas sambandet mellan olika vegetationsindex beräknade i satellitbilder som användes i CropSAT 2015 och N-upptag i fält beräknat från handburen N-sensor (utförda i samband med Greppa Näringens mätningar i nollrutor i fält i Västergötland och Skåne). I fallet med NDVI kan man se att värdena ganska snabbt närmar sig mättnad medan sambanden är mer linjära för SAVI och MSAVI ($r = 0,88$ i båda dessa). Det senare är det index som användes i CropSAT 2015. Olika sorter av höstvetar har något skilda reflektansegenskaper, vilket man också kan se en antydning av i Figur 5.



Figur 5. Kväveupptag i olika höstvetesorter i Västergötland och Skåne beräknat från handburen N-sensor (mätdata från Greppa) bredvid nollrutor jämfört med olika vegetationsindex beräknade i satellitdata från DMC (april – juni 2015).

I den nuvarande versionen av CropSAT redovisas vegetationsindexkartor och det är upp till användaren att tolka kartorna och t ex ange kvävebehovet i olika vegetationsindexklasser. En central fråga för en framtida utveckling av konceptet är huruvida det är möjligt att göra någon typ av kalibrering av satellitindexvärdena, så att man direkt skulle kunna räkna om indexvärden till grödegenskaper som kan användas för att bestämma kvävebehov. En första ansats till detta visas i Figur 6, där korsvalideringsresultat av en regressionsmodell som bygger på sambandet mellan MSAVI beräknat från DMC-data och N-upptag i höstvetesorterna Julius (SW) och Brons (SW) beräknade från N-sensor redovisas. Kalibreringssambanden bygger enbart på data fram till datumet för satellitbilden, och en plats i taget är borttagen, så resultatet simulerar en tänkbar praktisk tillämpning där man successivt kalibrerar satellitindexkartor med N-sensormätningar på några gårdar. Valideringsstatistiken (r^2 ; MAE (mean absolute error)) var som följer: **Julius**: 0,82; 8,9 kg/ha. **Brons**: 0,94; 5,3 kg/ha. **Kombinerad modell**: 0,83; 9,5 kg/ha.



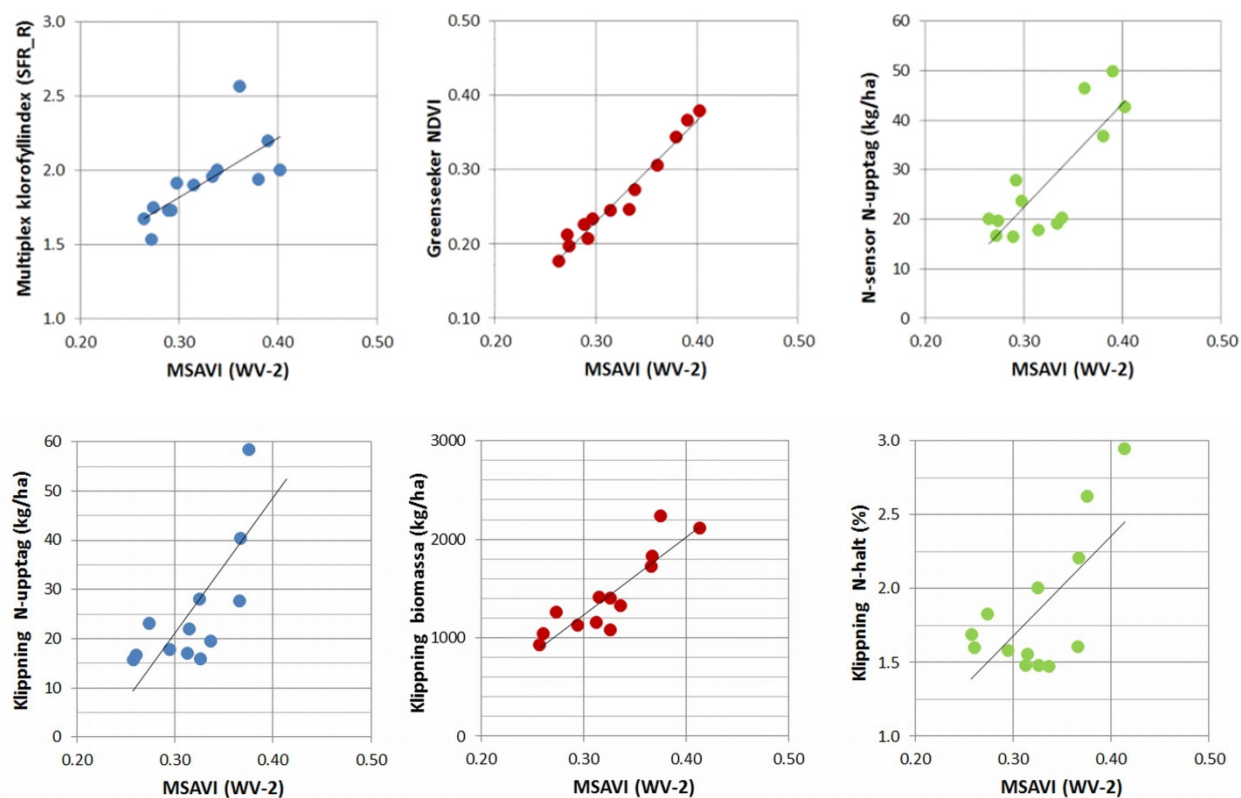
Figur 6. Kväveupptag predikerat från satellitdata (MSAVI) i successivt kalibrerade modeller allteftersom nya satellitbilder och fältmätningar med N-sensorer blev tillgängliga.

Figur 6 kan sägas vara ett exempel på hur väl det skulle gå att göra en distribuerad modell av kväveupptag genom att man kombinerar lokala fältmätningar med N-sensorer med satellitdata. I det här begränsade dataunderlaget verkar det som om sortspecifika modeller är att föredra även om den kombinerade modellen också fungerade relativt väl. För en kommande tillämpning borde det gå att utnyttja det arbete som redan görs av Greppa Näringen och Jordbruksverkets

rådgivningsenhet inom ramen för de kontinuerliga mätningarna av mineralisering av kväve och upptaget av tillfört gödselkväve.

Högupplösta satellitdata jämfört med data från försök

För att testa sambandet mellan satellitindexvärden och grödegenskaper gjordes en jämförelse mellan data uppmätta i ett gödslingsförsök på Lanna i Västergötland och MSAVI beräknat från WorldView-2 (banden NIR-1 och R). Försöksrutornas storlek var 2 x 12 m² vilket medförde att positioneringen av satellitbilden var mycket viktig för att rätt indexvärden skulle kunna knytas till respektive led. Med hjälp av det pankromatiska (svartvita) bandet i satellitbilden var detta möjligt, vilket öppnar för att man skulle kunna använda satellitdata i försökssammanhang. Fler underökningar där detta utvärderas rekommenderas. Sambanden i Figur 7 stärker de tidigare redovisade resultaten som visade att MSAVI som användes i CropSAT ger en bild av variationen i flera grödegenskaper, och dessutom ger värden som liknar de som olika handsensorer ger.



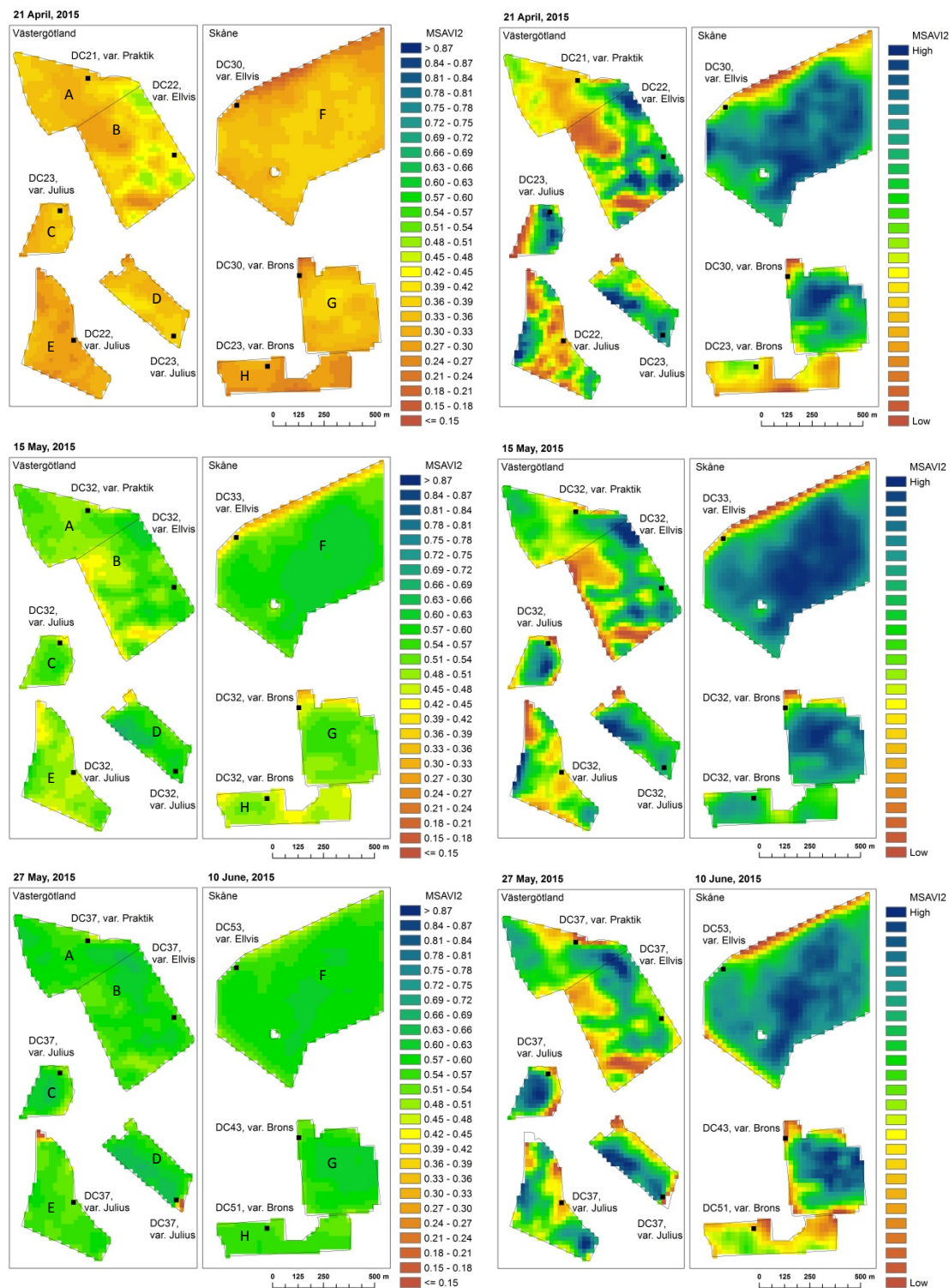
Figur 7. Data från ett gödslingsförsök i höstvet (DC37; 2 juni 2013) på Lanna i Västergötland. I vissa av leden var grödan mycket tunn vid tillfället. Övre raden: samband mellan MSAVI beräknat från WorldView-2 (28 maj) och data från tre olika handsensorer. Nedre raden: samband mellan MSAVI och data från klippningar.

Måste satellitbilderna vara nya för att vara användbara?

Även om det teoretiskt går att få satellitbilder nära nog varje dag så medför moln och dis ofta att det i vår del av världen inte alltid är så lätt att få fram användbara bilder. Även den tid det tar från det att bilden är registrerad i satelliten tills den är bearbetad och upplagd i användarsystemet kan vara viktig i tidskritiska applikationer. I det här projektet tog det typiskt en till tre dagar från det att bilden togs tills den fanns tillgänglig i CropSAT. I den nuvarande versionen av CropSAT är det den relativa variationen i indexvärden inom fältet som används, och det är upp till användaren att ange olika givor i olika indexklasser. Avgörande för om även äldre bilder kan användas för att ta fram kvävebehovskartor är hur stabil i tiden som den relativa variationen inom fält är. Faktorer som är viktiga för denna variation är t ex textur och mullhalt, strukturskillnader, topografi och odlingshistoria. I Figur 8 visas både satellitindexkartor för åtta höstvetefält (fem i Västergötland och tre i Skåne) vid tre olika tidpunkter under 21 april – 10 juni 2015, från DC21 till DC53 i något fält. Både med fast klassindelning (spalten till vänster i Figur 8) och den relativa variationen inom fält (spalten till höger i Figur 8). Det är ganska uppenbart att den fältvisa relativa variationen i många fall även under den här långa perioden var förhållandevis stabil. Detta antyder att man ofta skulle kunna använda en satellitbild som är ett par veckor gammal när man enbart ska använda det relativa mönstret med höga och låga värden som grund för en gödslingskarta. Det viktiga är att verifiera mönstret genom fältkontroll, och i fält bedöma vilken giva som ska tilldelas i de olika områdena. När det gäller stabilitet i den relativa variationen är det viktigt att georefereringen, d v s positioneringen av satellitbilden är korrekt. Eftersom pixelstorleken är 22 m kan små avvikelser ge ganska stora skillnader i värde om grödan varierar inom korta avstånd. Vi har sett i det här projektet att bilder lätt kan hamnat någon pixel fel, och det har tydligt kunnat ses vid noggranna jämförelser mellan bilder. Om bilderna hade haft högre upplösning hade den effekten blivit mindre.

Vidareutveckling – uppskattning av behov av svampbekämpning och skördeprognos

Redan nu har CropSAT använts för styrning av svampbekämpning. Om man tillämpar samma modell som ofta används av Yara N-Sensor-användare där dosen varieras med biomassan, så kan man helt enkelt byta ut kvävemängden mot dosen av ett annat preparat när man gör sin styrfil. Det finns dock ingen entydig modell för detta att rekommendera i dagsläget, utan det är mer upp till användarens bedömning. När det gäller skördeuppskattning är det en funktion som efterfrågas av lantbrukare och rådgivare. Vi har här jobbat med att utreda förutsättningarna för detta och formulerat en beskrivning av hur detta skulle kunna göras och tagit fram en projektplan för att integrera skördeprognoser i en utvecklad variant på det webbaserade beslutstödssystemet CropSAT. Ansökningar har lämnats in 2015 till Vetenskapsrådet, Formas och SLF. Utgångspunkten är att webbplattformen ska utvidgas med skördeprognoskartor som uppdateras kontinuerligt under säsongen, för att utveckla ett beslutstöd som jordbruket saknar och som tidigare inte varit möjligt att ta fram. Förutsättningarna för detta är goda och planen är ett sådant här system kan utvecklas inom de kommande åren om projektmedel finns tillgängliga. Vi har också fått förfrågningar från intressenter i våra nordiska grannländer om möjligheten att expandera CropSAT så att även dessa länder får tillgång till samma verktyg.



Figur 8. Satellitindexvärden för åtta höstvetefält vid olika tidpunkter 2015 i Västergötland och Skåne. Vänstra spalten: fast klassindelning. Högra spalten: klassindelning som visar relativa variationen på respektive fält. Stadie, sort och observationspunkt är angiven. I verkligheten är fälten geografiskt spridda. Ett hörn i E respektive D den 27 maj har klippts bort i kartan som visar relativa variationen.

Publikationer och annan resultatförmedling till näringen

Söderström et al., 2015. Satellite-based support system for variable-rate supplementary fertilization of nitrogen in small grain crops in Northern Europe. To be submitted to Remote Sensing for Crop Production and Management, a special issue of Agriculture.

Söderström et al., 2015. På väg mot det nya jordbruket – kväverekommendationer och grödstatuskartering inom fält genom en kombination av satellitdata och N-sensorer. Utvecklad version av denna rapport publiceras i serien POS Teknisk rapport, Institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet.

Presentationer: Borgeby 2014 och 2015, Geodata – Sverige bit för bit, 14-11-20, GeoInfo 2015 i Malmö 15-10-08; HIR-konferensen i Skara 14-10-09; HIR-seminarium i Lilla Böslid 13-12-12; N-sensorträffen i Hook 14-03-07; Odlaträffar i Örebro 14-11-12, Mellerud 14-12-17, Vara 15-03-02, Vara 15-05-21 och Grästorps 15-05-27; Rymdforum i Göteborg 15-03-09; Rymdseminarium i Stockholm 14-09-19; Position 2015 i Stockholm 15-03-17; Regionala växtodlings- och växtskyddskonferenserna i Uddevalla 15-01-15 och Växjö 15-12-04.

Artiklar etc i populär- och fackpress: Projektet har omnämnts mycket – här är några exempel:

Annonskampanj för CropSAT av Greppa, t ex i Land, nr 20, 15-05-08

Arvensis nr 7, 2014, s 26-27: Trender i precisionsodlingen

Gränssnittet: nr 1, 2015, s 17-19: Satelliter hjälper lantbrukaren gödsla rätt

Ingenjören: nr 3, 2015, s 36-37: Jordbruk 2.0 - high tech på vägen från ax till limpa

Jordbruksaktuellt: 2015-04-27: Mät grödan via satellit

Land: nr 9, 2014, s 9: Satelliter gör din gödsling mer exakt

Nytt från Stiftelsen Lantbruksforskning: nr 2, 2015, s 3: Vägledning från ovan

Skaraborgs Läns Tidning, 15-08-07: Datorer och satellitbilder som styr lantbruket

Hemsidor: CropSAT.se; Precisionsskolan.se; Greppa.nu

Kuriosa: Projektets första hemsida utsattes för ett plagiat av danska Geoteam A/S.

Plagiathemsidan tildelingskort.dk vann pris för årets nyhet på Agromek 2014

TV: [Gödsla med satellit - Inslag på TV4, 14-04-09](#)

Radio: [Vetandets värld, 15-03-17, ca 15 min in i programmet](#)



Slutsatser

Det går utmärkt att utnyttja satellitdata för tillämpad grödstatuskartering. Satellitdata som omräknats till vegetationsindexkartor kan användas för mer exakt anpassning av kvävegivan inom fält. Indexet MSAVI var mer användbart än NDVI. Man kan aldrig garantera att data blir tillgängliga för alla fält överallt, men även under ett molnigt år som 2015 täcktes 2/3 av åkermarken in av minst 3 bilder under kompletteringsgödslingssäsongen. Det är ett mycket kostnadseffektivt sätt att tillhandahålla kartunderlag till Sveriges lantbrukare (drift för CropSAT 2015 var ca 20 öre/ha – utslaget på 2/3 av arealen), som möjliggör bättre kvävehushållning. Att ha helt aktuella bilder är inte nödvändigt om man använder den relativa variationen som grund. Det verkar finnas möjlighet att kalibrera satellitbilder med handsensormätningar så att satellitindexkartor kan räknas om till kartor över t ex N-upptag. Många användare har utnyttjat den framtagna applikationen CropSAT som har potential att utvecklas vidare med nya funktioner.