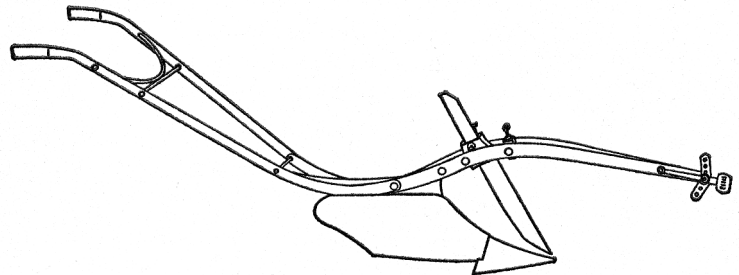




Institutionen för
Mark och miljö
Uppsala

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala
Department of Soil and Environment



Nr 65

2011

Rikard Larsson

**Grödreflektans och bildanalys för
bestämning av biomassa i fältförsök**

*Canopy reflectance and image analysis to
determine plant biomass in field experiments*

Grödreflektans och bildanalys för bestämning av biomassa i fältförsök

Rikard Larsson

Handledare: Johan Arvidsson, SLU,

Institutionen för mark och miljö

Examinator: Tomas Rydberg, SLU,

Institutionen för mark och miljö

Omfattning: 30 hp

Kurstitel: (Självständigt arbete i Markvetenskap)

Program/utbildning: (Mark/Växt Agronom)

Utgivningsort:(Uppsala)

Utgivningsår: (2011)

Serienamn: nr (Meddelande från jordbearbetningsavdelningen, nr 65)

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: (Jordbearbetning, såbädd, uppkomst, ekonomi)

Förord

Denna studie är ett examensarbete på Jordbearbetningavdelningen vid Sveriges Lantbruksuniversitet Uppsala. Examensarbetet är skrivet inom huvudämnet markvetenskap på D-nivå. Studierna är utförda i Uppland samt Östergötland och har bearbetats på institutionen för mark och miljö. Denna studie avslutar här med min agronomutbildning med mark och växt inriktning vid Sveriges Lantbruksuniversitet Uppsala. Jag vill passa på att tacka Carl-Magnus Olsson på Yara för att ha ställt upp med utrustning, samt instruerat oss i denna. Ett särskilt tack vill även riktas till Anders Larsolle på institutionen för Energi och teknik, då han utfört bildanalysen i studien. Sist men inte minst vill jag tacka min handledare Johan Arvidsson på institutionen för Mark och miljö för att ha varit behjälplig och stödjande under studiens gång.

Sammanfattning

I traditionella fältförsök har den vanligaste metoden för att bestämma biomassa och kvävemängd varit att klippa prover i den växande grödan. Denna bestämning blir tidskrävande och på så sätt dyr, vilket gör den svår att utföra flera gånger under en växtsäsong. Efterfrågan har därför vuxit efter en tillförlitlig metod som är effektiv och som därmed gör det möjligt att mäta med tätare intervaller, men som ändå inte är oskäligt dyr. Detta examensarbete har inriktat sig till att undersöka om grödors reflektans som mäts med en hyperspektral sensor kan vara användbar för att bestämma biomassa, kvävemängd och kvävehalt och på så vis vara användbar i försöksverksamheten. Dessutom har metoden bildanalys jämförts med sensormätningar.

Försöket startade 2010-04-16 och pågick med löpande mätningar till 2010-06-30 i sju jordbearbetningsförsök. För att mäta reflektansen har Yara's handburna sensor använts, vilken mäter grödreflektansen mellan 400 och 1000 nm. Fyra mätningar gjordes i varje ruta vid flera tillfällen under våren och försommaren. Fram till och med att grödan slöt sig fotograferades även varje ruta vid samma tillfälle som reflektansmätningarna. Detta utfördes genom att fyra fotografier togs i varje försöksruta med en digitalkamera på stativ, vilket gav en yta på 0,22 m²/foto. Bilderna analyserades sedan digitalt för att ge den andel som grödan täckte av marken. Vid varje tillfälle bestämdes även biomassan genom att klippa en kvadratmeter och sedan väga denna efter torkning. För att korrelera reflektansen till biomassa, kvävemängd och kvävehalt användes följande vegetationsindex; NDVI, OSAVI, GNDVI, NIR/Red, NIR/Green, REIP, TrVI, TCARI och TC/OS. Dessutom testades parametrarnas samband med reflektansen för våglängderna, 780 nm, 850 nm och 780-670 nm.

Resultaten visade på goda korrelationer mellan biomassan och flera av indexen. Även kvävemängden visade god korrelation till indexen. Mellan kvävehalten och indexen var det däremot svårt att hitta någon hög korrelation. De fyra indexen som generellt sett gav högst korrelation var NDVI, NIR/Green, 780 nm och 780-670 nm. NIR/Green var det index som visade allra högst korrelation till parametrarna och kom därför att användas vid bestämning av ledskillnader i försöken. Bildanalysen gav god korrelation till både NDVI och NIR/Green. Problem som kunde ses med biomassabestämning genom grödreflektans var att skörderester kunde ge upphov till en högre reflektans vid tidiga mätningar. En annan brist var att det var svårt att finna en god korrelation med kvävehalten. För övrigt fungerade metoden mycket tillfredställande och kan definitivt vara ett hjälpmedel för biomassabestämning, men kanske framförallt bidra med en förklaring till utvecklingen mellan leden i fältförsök.

Summary

In traditional Swedish field experiments in crop production, plant development during vegetative stages is usually determined by visual assessment or by cutting the crop. Measurements of canopy reflectance as well as digital image analysis offer non-destructive and quick methods which can be used to determine crop biomass and area covered by vegetation. The objective of the work presented here was to compare measurements of canopy reflectance with measurements of aboveground plant biomass, content of nitrogen in the crop and image analysis of leaf area coverage.

Measurements were made between 16 April and 30 June in 2010 in totally 7 field experiments with soil tillage. A handheld Yara N-sensor equipment was used which measured reflectance in the interval 400-1000 nm. Four measurements were made in each plot of the experiments at several occasions during the spring and early summer. Until canopy closure, the crop was photographed at the same occasions as the reflectance measurements. Four pictures per plot were taken with a camera mounted on a tripod, each picture covered an area of approximately 0.22 m². The pictures were digitally analyzed to calculate the area covered by green leaves. At each measuring occasion, the aboveground biomass was determined. This was normally done in one of the treatments by cutting the crop in 1 m², followed by drying and weighing. The vegetation indices that were used to correlate the parameters to the reflectance was: NDVI, OSAVI, GNDVI, NIR/Red, NIR/Green, REIP, TrVI, TCARI and TC/OS. Wavelengths of 780 nm, 850 nm och 780-670 nm were also used to test the correlation with the three parameters.

There was generally a good correlation between biomass and the different indices. Also for the amount of nitrogen there was a good correlation with the indices. For nitrogen concentration in the plants the correlation with the indices was much lower. The highest correlations were found for the indices NDVI, NIR/Green, 780 nm and 780-670 nm, and were used for further analysis of the data. NIR/Green had the highest correlation to all parameters and was therefore used to determine differences between treatments in the field experiments. The area covered by plants in the image analysis had also good correlations to both NDVI and NIR/Green.

A problem with measuring crop reflectance was that harvest residues could be a source of reflectance, especially in non tillage treatments. There was also a poor correlation between the indices and the nitrogen concentration. Apart from this, the method worked very well and can definitely be valuable to determine the aboveground biomass and follow the development in field experiments.

Innehållsförteckning

1. Inledning	7
2. Bakgrund.....	8
2.1 Grödors optiska egenskaper	8
2.2 Sensorer.....	9
2.3 Vegetationsindex.....	10
2.4 Bildanalys	12
3. Material och metod	13
4. Resultat	16
4.1 Samband mellan biomassa och kvävehalt.....	16
4.2 Index för enskilda grödor.....	16
4.2.1 <i>Index för höstvet</i>	16
4.2.2 <i>Index för vårsäd</i>	17
4.2.3 <i>Index för raps</i>	17
4.3 Biomassa korrelerad till index för samtliga grödor	19
4.3.1 <i>Biomassa som funktion av NDVI</i>	19
4.3.2 <i>Biomassa som funktion av NIR/Green</i>	19
4.3.3 <i>Biomassa som funktion av 780 nm</i>	20
4.3.4 <i>Biomassa som funktion av 780-670 nm</i>	21
4.4 Kvävemängd korrelerad till index för samtliga grödor.....	21
4.4.1 <i>Kvävemängd som funktion av NDVI</i>	21
4.4.2 <i>Kvävemängd som funktion av NIR/Green</i>	22
4.4.3 <i>Kvävemängd som funktion av 780 nm</i>	23
4.4.4 <i>Kvävemängd som funktion av 780-670 nm</i>	23
4.5 Kvävehalt korrelerad till index för samtliga grödor	24
4.5.1 <i>Kvävehalt som funktion av NDVI</i>	24
4.5.2 <i>Kvävehalt som funktion av NIR/Green</i>	25
4.5.3 <i>Kvävehalt som funktion av 780 nm</i>	26
4.5.4 <i>Kvävehalt som funktion av 780-670 nm</i>	27
4.6 Grödors täckningsgrad som funktion av Index.....	27

4.7 Ledskillnader i försöken	29
4.7.1 <i>Ledskillnader i veteförsök</i>	29
4.7.2 <i>Ledskillnader i vårrapsförsök</i>	30
4.7.3 <i>Ledskillnader i vårsädsförsök</i>	33
4.7.5 <i>Prognos för skörd</i>	37
5. Diskussion.....	39
5.1.1 <i>Index</i>	39
5.1.2 <i>Bildanalys i jämförelse med sensormätningar</i>	40
5.1.3 <i>Sensormätningar för att se utveckling av ledskillnader</i>	40
6. Slutsats	42
Referenser	43

1. Inledning

Att klippa biomassa har i försöksverksamheten varit den vanligaste och den säkraste metoden för bestämning av biomassa och proteinhalt i växande gröda. Det är ett tidskrävande och skrymmande arbete som måste ske i flera steg, det vill säga först klippning av biomassa, sedan torkning, vägning och proteinhaltsbestämning av proverna. Detta gör det bland annat svårt att följa hur olika behandlingar i försöken utvecklas och fluktuerar under vegetationssäsongen. Efterfrågan har därför vuxit efter en tillförlitlig metod som är effektiv och därmed gör det möjligt att mäta med tätare intervaller, men ändå inte är oskäligt dyr. Under de senaste åren har därför hyperspektrala fjärrsensorer blivit allt vanligare att använda i försöken. Användningen har då framförallt inriktats på att mäta ljusreflektansen i grödan under växtsäsongen för att förutspå kärnskörd och proteinhalt vid skörd (Pettersson et al., 2006) eller att ge en gödslingsrekommendation efter grödans kväveupptag (Olsson, 2010). Den variabel som sensorn mäter är ljusreflektansen från grödan i ett våglängdsspektrum. Denna reflektans varierar i olika våglängder och beror delvis på grödans klorofyllmängd, men även på mängden biomassa. På grund av detta finns det en potential att korrelera reflektansen med hjälp av olika index till biomassa, kvävemängd och kvävehalt. De index som används har olika konstruktion, dock har de gemensamt att de tar hänsyn till reflektansen i de viktiga våglängdsband som påverkas av biomassa och klorofyllmängd. Förhoppningen med denna metod var alltså ge oss möjligheten att uppskatta den faktiska biomassan och kväveinnehållet i växande grödor utan att aktivt klippa i dem.

Syftet med denna studie var att hitta de vegetationsindex som ger god korrelation mellan grödors ljusreflektans och biomassa, kvävemängd och kvävehalt. Vidare undersöktes möjligheten att använda ett av dessa index för att se ledskillnader under vegetationssäsongen i olika försök. Slutligen testades även sambanden mellan bildanalys och sensormätningar. De frågeställningar som studien skulle ge svar på var: Vilka vegetationsindex har hög korrelation till biomassa, kvävemängd och kvävehalt? Kan sensormätningar ersätta bildanalys vid biomassabestämning när grödan ännu inte har slutit sig? Går det att med sensormätningar och hjälp av ett index bestämma ledskillnader i fältförsöken under vegetationssäsongen?

För att få svar på dessa frågor utfördes sensormätningar, biomassaklippningar och fotograferingar i sju jordbearbetningsförsök. Fältstudien begränsades till Uppland och Östergötland, och det var Yara's handsensor som användes. Studien begränsades till grödorna höstvetete, höstraps, vårkorn, vårraps och vårvete.

2. Bakgrund

2.1 Grödors optiska egenskaper

Grödors spektralegenskaper beror mestadels på bladens och den underliggande jordens spektrala egenskaper. I vissa fall har även andra delar av växten stor påverkan som till exempel blommor och frukter. Det är ingen skillnad i utseendet på reflektansspektrum av olika sorters blad från grödor, utan det är endast magnituden i reflektansen som ger skillnad i spektrumet (Guyot, 1990).

I det synliga ljusområdet (400-700nm) är reflektansen från bladen låg och transmittansen mycket låg. Den största mängden av strålningen absorberas av bladpigment som klorofyll a och b. Detta ger upphov till två absorptionsmaximum centrerade i det blå och röda våglängdsbandet. Det är också anledningen till att reflektansen är som störst i det gul-gröna (550 nm) våglängdsbandet (Guyot, 1990).

I det nära infraröda våglängdsområdet (700-1300 nm) är bladpigment och cellulosa i cellväggar transparenta, vilket ger en mycket låg bladabsorption. Den inkomna strålningen kommer därför reflekteras eller transmitteras. Reflektansen kan uppgå till 50 % på den ”infraröda plattan”, denna nivå styrs dock av den anatomiska strukturen på bladen. Reflektansen ökar med ökat antal cellager och storlek på cellerna, orienteringen på väggarna och olikheten på dess innehåll, se Bild 1 (Guyot, 1990).

I mitten av det infraröda våglängdsområdet är det vatteninnehållet som har störst påverkan på bladens optiska egenskaper. Över 1300 nm framträder starka vattenabsorptionsband och därav blir bladreflektansen låg. Mellan dessa band förekommer fortfarande vattenabsorption men inte i lika stor utsträckning. Skillnaden mellan dessa absorptionsmaximum varierar därför på grund av bladens vatteninnehåll (Guyot, 1990).

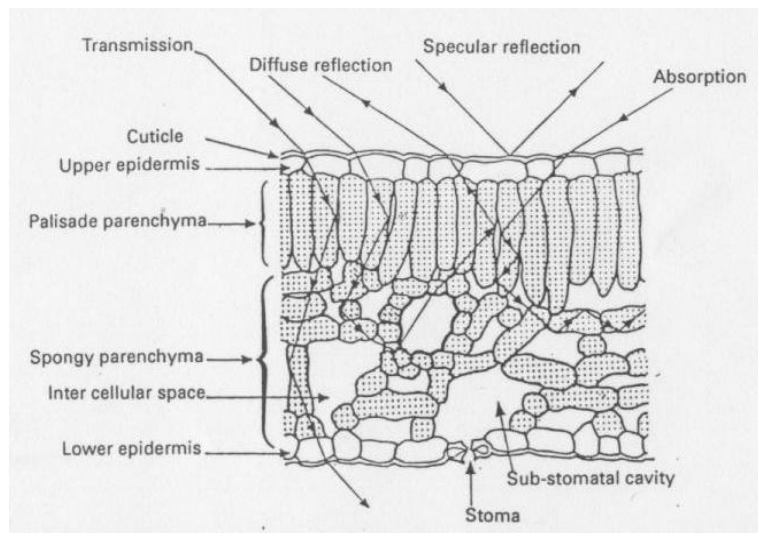
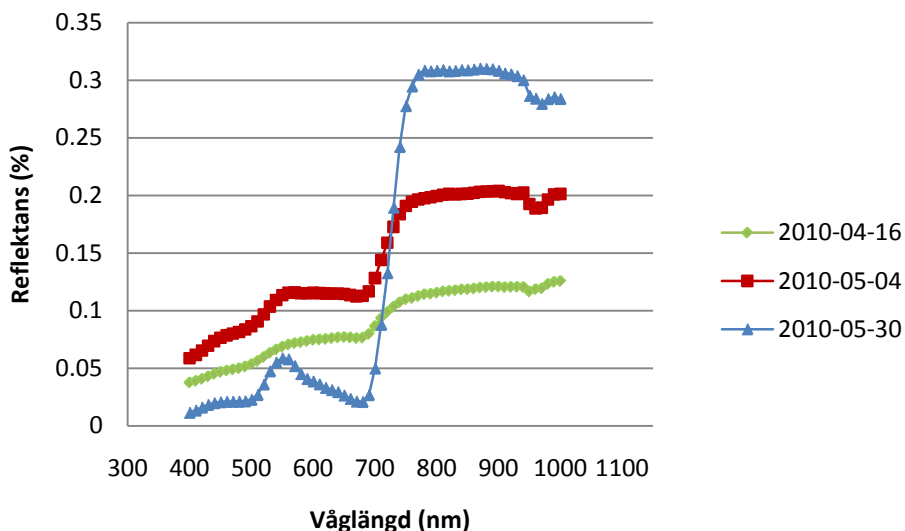


Bild 1. Schematiskbild över ljusets interaktion med bladets vävnad. Tvärsnittet motsvaras av bladet från en dikotyledon (Guyot, 1990).

Reflektansspektrum från grödor är en kombination av reflektansen från växten och den underliggande jorden. När grödan växer minskar jordens bidrag progressivt, då den bara jordens reflektansspektrum ersätts av plantreflektansspektrumet. Detta leder till att reflektansen kommer att sjunka i mitten av det infraröda och det synliga våglängdsområdet,

för att i det nära infraröda området istället öka, se Figur 1. När den gröna biomassen ökar under växtsäsongen kan grödans reflektans nå en mättnadsgrad. I det synliga ljuset och det mittre infraröda området är nivån för mättnadsgrad omkring LAI 3 (Leaf Area Index) och för den nära infraröda strålningen infaller mättnaden omkring LAI 5 eller 6. Dock påverkas mättnadsgraden i hög utsträckning av plantans geometri (Guyot, 1990).



Figur 1. Utveckling av grödreflektansen mellan 400-1000 nm vid tre olika tidpunkter. Höstvet i försök R2-4007, Ultuna.

2.2 Sensorer

Olika fjärrsensorapplikationer har visat sig vara potentiella för att bestämma olika grödvariabler relaterade till biofysiska, fysiologiska eller biokemiska egenskaper. Hyperspektrala fjärrsensorer mäter reflektansen i många smala band (10 nm) till skillnad från multispektrala fjärrsensorer som mäter reflektansen i färre större band (50 nm). Hyperspektrala fjärrsensorer är ett kraftfullt verktyg när det gäller kontinuerlig mätning och när det finns ett intresse att urskilja vissa smala våglängdsband. Möjligheten att använda dessa har också ökat då tekniken har gjort att dessa sjunkit i pris (Hansen & Schjoerring, 2002).

I försöket har Yara's handsensor används för att mäta den elektromagnetiska reflektansen från grödan, se Bild 2. Principen med Yara's handsensor är att den mäter och analyserar solljuset som reflekteras av grödan i våglängdsintervallet 400 nm till 1000 nm. Sensorn har två registrerande reflektorer där den ena mäter solinstrålningen och den andra mäter reflektionen från grödan. Genom



Bild 2. Visar Yara's handsensor (Olsson, 2010).

att även solinstrålningen mäts kan sensorn kompensera för eventuella ljusvariationer. Den handburna sensorn mäter endast i en riktning vilket gör den välanpassad till försöksrutor. Den reflekterade strålningen från grödan når sedan en spektrometer som mäter ett spektrum av ljusinstrålning, vilket innebär att ljuset bryts upp i olika våglängder, som sedan registreras av en mätyta av dioder. Mätvärdena måste sedan extraheras med hjälp av Yara's program "Spectrum Analyzer" vilket resulterar i bladytans reflektans för varje våglängdsband (Olsson, 2010).

2.3 Vegetationsindex

För att kunna korrelera reflektansen till biomassa, kvävemängd och kvävehalt behövs ett vegetationsindex. Vid upprättning av ett Vegetationsindex (VI) är det framför allt fyra positioner på spektrumet som är viktigt att ta hänsyn till: (1) grönt ljus vid 550 nm tillsammans med (2) rött ljus vid 700 nm vilka är lokala minimum för klorofyll absorption, (3) rött ljus vid 670 nm vilket är ett lokalt maximum för klorofyll absorption, (4) samt det infraröda bandet vid 780 nm där ljuset inte absorberas av klorofyll utan reflekteras (Pettersson et al. 2006).

De vegetationsindex som användes i denna studie hade olika konstruktion och var därmed lämpade att använda i olika situationer. Nedan följer en beskrivning av de index som kan ses som de vanligast förekommande.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) är det vanligast förekommande indexet som används idag. Detta eftersom det minimerar de topografiska effekterna, ska ge en linjär mätskala och är enkelt att använda då det bara räknas fram från två våglängder. NDVI korrelerar bra med klorofyllkoncentrationen i växten och även med indexen LAI och GAI (Green Area Index). Det negativa med indexet är att det redan vid LAI 3-4 har nått mättnad och därmed sin övre gräns (Carlson & Ripley, 1997), dessutom är det känsligt för både vinkeln på solinstrålningen och bakgrundsreflektionen. I denna studie användes en smal-bands formel från Reusch (1997):

Normalized Difference VI:

$$NDVI = (R_{780} - R_{670}) / (R_{780} + R_{670})$$

Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) räknas fram på liknade sätt som NDVI, dock har det röda ljuset på 670 nm bytts ut mot grönt ljus på 560 nm (Gitelson et al., 1996). Fördelen med GNDVI jämfört med NDVI är att denna fungerar bättre vid högre LAI-värden och klorofyllkoncentrationer (Shanahan et al., 2001).

Green Normalized Difference VI:

$$GNDVI = (R_{780} - R_{560}) / (R_{780} + R_{560})$$

Optimised Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI) minimerar påverkan av reflektionen från jorden. Detta vegetationsindex fungerar därför bra då mätning sker på svagt utvecklade grödor (Pettersson et al., 2006).

Optimised Soil Adjusted VI:

$$\text{OSAVI} = (1 + 0.16)(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$$

Genom att ta kvoten av reflektansen i nära infrarött ljus och det röda ljuset eller det gröna ljuset kan ett enkelt kvotindex räknas fram. Dessa index har funnits länge och används ofta som ett referensindex vid arbete med andra vegetationsindex. Ett problem med dessa index tycks vara att kvoten mellan reflektanser inte är normalt fördelade. Detta kan då orsaka problem vid statistiska uträkningar (Thiam & Eastman, 2001).

Kvotindex:

$$\text{NIR/Red} = R_{780}/R_{670}$$

$$\text{NIR/Green} = R_{780}/R_{550}$$

Den exakta positionen för inflektionspunkten mellan den minimala reflektansen av rött och den starka reflektionen i det nära infraröda våglängdsbandet kallas för "Red edge inflexion point" eller REIP. Denna punkt är beroende av mängden klorofyll, vilket gör den möjlig att använda som vegetationsindex (Pettersson et al., 2006).

Red edge inflexion point:

$$\text{REIP} = 700 + 40(((R_{670} - R_{780})/2) - R_{700})/(R_{740} - R_{700})$$

För att konstruera ett triangulärt vegetationsindex (triangular vegetation index) används reflektansen för den gröna maxpunkten, reflektansen i absorptionsmaximum för klorofyll samt reflektansen i det nära infraröda området. Idén med indexet var att relatera energin som var absorberad av grödan till arean av den triangel som bildas av reflektansen för våglängderna 750, 670 och 550 nm. Mer blad ger en högre reflektans i det nära infraröda området och grönare blad resulterar i lägre reflektans i klorofyllets absorptionsmaximum, vilket innebär att båda ger ett högre värde för indexet (Broge & Leblanc, 2000).

Triangular vegetation index:

$$\text{TrVI} = 0,5 * [120(R_{750} - R_{550}) - 200(R_{670} - R_{550})]$$

TCARI, "Transformed Chlorophyll Absorption in Reflectance Index" är ett reflektansindex som använder reflektansen i båda våglängderna för klorofyllets absorptionsminimum (550 och 700 nm) och reflektansen i klorofyllets absorptionsmaximum (670 nm) (Haboudane et al., 2002).

$$\text{TCARI} = 3[(R_{700} - R_{670}) - 0,2(R_{700} - R_{550}) * (R_{700}/R_{670})]$$

Haboudane et al. (2002) har även föreslagit användningen av kvoten mellan de redan känsliga indexen TCARI och OSAVI.

$$TC/OS = TCARI/OSAVI$$

2.4 Bildanalys

Ett digitalt färgfoto består av en kombination av färgintensiteten för rött, grönt och blått (RGB-färgsystemet). Denna färgintensitet ligger i intervallet från 0 till 255 i varje pixel, vilken således är definierad med bara en färg. Pixeln kommer att visas som en gråskala om de tre (RGB) värdena har samma värde. Den kommer vara svart om alla RGB-färgkoderna är 0,0,0 och således kommer den anta en vitfärg om alla färgkoder är 255,255,255. Ett digitalt färgfoto kan därför innehålla 256^3 olika färger. Genom att använda en enkel beräkningsmetod kan varje färgvärde för varje pixel konverteras till ett värde på en gråskala (Klarskov Hansen et al., 2010). Detta sker genom att den gröna färgkoden multipliceras med två och sedan subtraheras med värdet för den röda och den blå färgkoden. Följden blir en gråskalebild där de pixlar som var gröna nu framträder som ljusa gråtoner. Resterande pixlar, till exempel jord och sten, framträder som något mörkare färgtoner (Klarskov Hansen et al., 2010; Sjøgaard and Olsen, 2003). Sedan definieras ett tröskelvärde där de ljusgrå ska skiljas från de mörkgrå och därmed kan de tidigare gröna skiljas från de tidigare icke gröna pixlarna. När sedan de tidigare gröna pixlarna räknas och ställs i relation till de tidigare icke gröna pixlarna resulterar detta i en täckningsgrad av grön växtlighet (Klarskov Hansen et al., 2010). Denna metod tycks nu vara accepterad och används av flera forskare runt om i världen. Vid Sveriges Lantbruksuniversitet på Ultuna använder bland annat Anders Larsolle vid institutionen för energi och teknik denna metod för bildanalys.

3. Material och metod

I studien har sensormätningar, fotograferingar och biomassaklippningar utförts i sju befintliga jordbearbetningsförsök, se Tabell 1. Grödval och ledskillnader har legat till grund för urvalet. Studien startade 2010-04-16 och pågick med löpande mätningar till 2010-06-30, se Tabell 2.

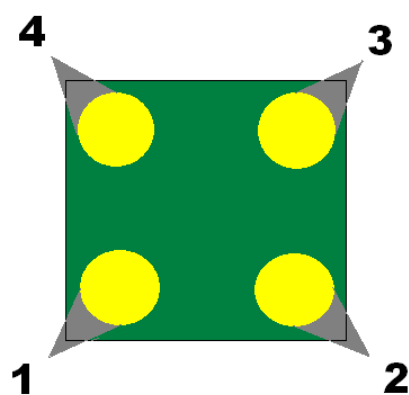
Tabell 1. Innefattar de jordbearbetningsförsök som ingått i studien. Här redovisas försöksseriens- och försökets beteckning, samt försöksplats och en kort beskrivning av försöket

Försöksserie	Försök	Platser	Gröda	Beskrivning
R2-4007	CX-141	Ultuna	Höstvete	Ett försök med olika bearbetningssystem med inriktning på luckringsbehov. A= plöjning varje år, B = Plöjning vissa år, övr. yttlig bearbetning, C = plöjning vissa år, övr. luckring till plogdjup, D = Grund bearbetning, E = Djup bearbetning. Försöket är långliggande och startades 1974.
R2-5077	CX-727 E-152	Ultuna Vreta kloster	Höstvete	Fleråriga försök med olika jordbearbetningssystem. Samtliga försök består av fyra led, A = Plöjning, B = grund plöjning, C = Djup bearbetning (10 – 15 cm) och D = Grund bearbetning (5-10 cm). Dessutom var en försöksvariabel fungicidbehandling mot snömögel. Försöken startades 2005.
R4-9402-806	CX	Kungsängen	Höstvete	Försöket testade effekten av samspelet mellan förfrukt och jordbearbetning. Försöksleden var: 1= konventionell jordbearbetning; 2 = konventionell jordbearbetning med fungicidbehandling; 3 = reducerad jordbearbetning; 4 = reducerad jordbearbetning med fungicidbehandling. Dessa testades sedan mot olika förfrukter vilka var: A = höstvete; B = vårkorn; C = havre; D = vårraps; E = lin; F = ärt. Försöket startade 2008.
R2-4143	CX-761	Ultuna Egendom	Höstraps	Detta försök testade höstrapsetablering med biodrill och direktsådd. Behandlingarna var A = plöjning; B = grund bearbetning med Top-down med konventionell rapidsådd; C = Top-down grunt med biodrill; D = Top-down djupt med biodrill; E = direktsådd, rapid med förredskap; F = direktsådd, rapid utan förredskap. Försöket startade 2009.
R2-5079-A	CX-762	Ultuna Egendom	Vårraps	Ett vårrapsförsök där såtid och sådjup testades. Behandlingarna var; A = tidig sådd; B = normal sådd; C = sen sådd och detta testas mot; 1 = sådjup på cirka 2 cm; 2 = sådjup på cirka 4 cm. Dessutom kombinerades dessa behandlingar med ”normalt vårbruk” (2 harvningar) respektive ”intensivt vårbruk” (4 harvningar). Försöket startade 2010.
R2-4140	CX-738 E-137	Ultuna Vreta kloster	Vårraps och vårkorn	Försöket testade optimering av reducerad bearbetning. Behandlingarna var; 1 = Plöjning, 2 = Grund plöjning, 3 = kultivator (10-12 cm), 4 = Djupkultivator = (styv pinne, 20 cm), 5 = Carrier (5-7- cm) och 6 = Direktsådd. Varje led delas dessutom upp i A bra växtföljd och B dålig växtföljd. Försöket startades 2006.
R2-4127	CX-723 CX-724	Ultuna Ultuna	Vårraps Vårvete	Försöksserie med Top Down där försöken skiljer sig åt då ett är med bra växtföljd och ett med dålig växtföljd. Försöken består av fem led, A = Plöjning, B = Top Down 1 ggr 10 cm, C = Top Down 2 ggr 10 cm, D = Top Down 1 ggr 20 cm, E = Top Down 2 ggr 20 cm. Försöket startades 2005.

Tabell 2. Schema över de behandlingar som utfördes i de sju jordbearbetningsförsöken. Klippning = klippning av biomassa 0,75-1 m²/ruta i ett led. Rutvis klippning = alla rutor i försöket klipptes. Bildanalys = fotografering som sedan bildanalyserades, samtliga rutor. Sensor = mätningar med Yara's handsensor, samtliga rutor. Kalibrering=klippning, sensor och fotografering i ett område strax utanför försöket.

Vecka/Försök	4007	5077	9402	4143	5079	4127	4140
15	Klippning, Bildanalys, Sensor		Klippning, Bildanalys, Sensor	Klippning, Bildanalys, Sensor			
18	Klippning, Bildanalys, Sensor	Klippning, Bildanalys, Sensor	Klippning, Bildanalys, Sensor	Klippning, Bildanalys, Sensor			
19			Klippning, Bildanalys, Sensor				
20	Klippning, Bildanalys, Sensor, Kalibrering	Klippning, Bildanalys, Sensor, Kalibrering	Rutvis klippning, Bildanalys, Sensor	Klippning, Bildanalys, Sensor	Klippning, Bildanalys, Sensor	Klippning, Bildanalys, Sensor Kalibrering (endast vete)	Klippning, Bildanalys, Sensor (endast korn)
21	Klippning, Bildanalys, Sensor Kalibrering	Klippning, Sensor, Kalibrering	Klippning, Sensor, Kalibrering		Klippning, Bildanalys, Sensor Kalibrering	Klippning, Bildanalys, Sensor Kalibrering	Klippning, Bildanalys, Sensor
23	Klippning, Sensor, Kalibrering	Klippning, Sensor, Kalibrering	Klippning, Sensor, Kalibrering		Klippning, Bildanalys, Sensor	Klippning, Bildanalys, Sensor Kalibrering	Klippning, Bildanalys, Sensor
24	Klippning, Sensor, Kalibrering	Klippning, Sensor, Kalibrering	Klippning, Sensor, Kalibrering		Rutvis klippning, Bildanalys, Sensor	Rutvis klippning, Bildanalys, Sensor	Rutvis klippning, Bildanalys, Sensor
26	Klippning, Sensor, Kalibrering	Klippning, Sensor, Kalibrering	Klippning, Sensor		Klippning, Sensor Kalibrering	Klippning, Bildanalys, Sensor Kalibrering	Klippning, Bildanalys, Sensor Kalibrering

Sensormätningarna utfördes med Yara's handsensorer med identifieringsnummer 1777 och 435 som var stationerade i Västerås respektive Klostergården. Vid varje mättillfälle utfördes fyra mätningar i varje försöksruta och detta genom att mäta diagonalt inifrån varje hörn på rutan i följd, se Figur 2. Mätvärdena lades sedan in i en dator där resultaten kunde extraheras till grödans reflektans.



Figur 2. Handsensormätningar utfördes enligt följande figur.

Till en början i studien togs ett biomassaprov i

samband med sensormätningar i ett av leden genom att 0,75 – 1 m² biomassa klipptes i varje ruta, se Tabell 2. I några av försöken togs även biomassaprov rutvis vid ett tillfälle. Biomassaproverna torkades i 50°C innan de vägdes. Utvalda prover lämnades sedan på totalkväveanalys.

Från försökets början till och med att grödan slöt sig användes bildanalys som en mätmetod för att korrelera täckningsgrad mot vegetationsindex. Den digitalkamera som användes var av märket Olympus med 10.2 megapixel, denna var monterad på ett aluminiumstativ för att ge samma avstånd (115 cm) till marken vid varje fotografering. I samband med varje sensormätning togs fyra slumpmässiga fotografier rakt uppifrån på grödan längs en linje rakt genom varje ruta. Ytan som fotograferades var på 0,22 m². Sedan analyserades bilderna genom bildanalys vilket är en digital metod för att beräkna den yta som omfattas av gröna blad i en bild. Bildanalysen i denna studie utfördes i två steg, där det första steget var en automatisk binarisering. Under det andra steget skedde beräkningen av täckningsgraden. Binariseringen i steg ett innebar att ett gråvärde "växtindex" räknades fram genom den färginformation som fås med hjälp av ett så kallat överskjutande grönt index. Sedan valdes ett optimalt grått tröskelvärde ut med en algoritm för att ge en automatisk identifiering av växt eller icke växttoppar i det grå frekvensindexet. Med tröskeln kunde sedan den binära bilden (växt eller icke växt) beräknas genom att jämföra varje pixel i växtindexbilden med tröskelvärdet.

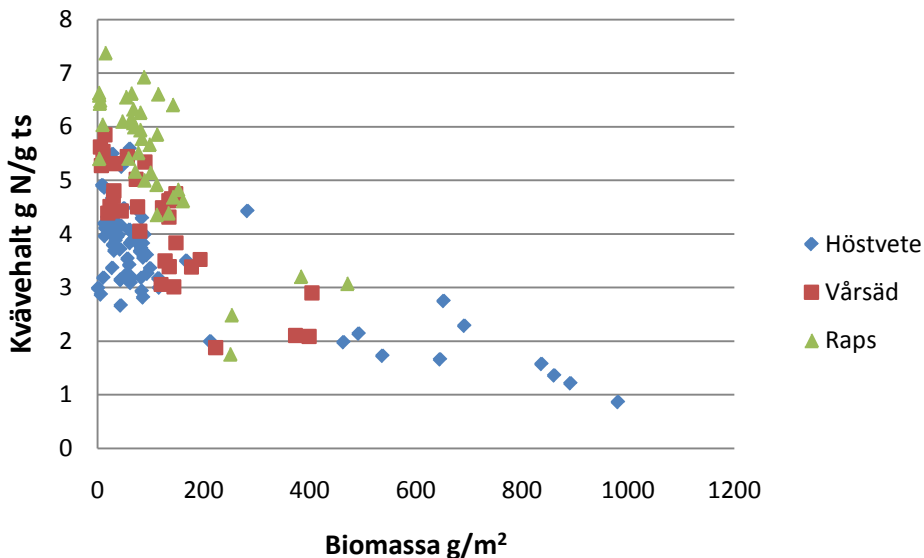
I flera av försöken gjordes även så kallade "kalibreringsmätningar". Detta innebar att en punkt valdes ut vid sidan av ett försök och sedan användes samtliga tre mätmetoder för att analysera samma biomassa. Detta innebar att fyra sensormätningar utfördes från fyra olika håll mot punkten. Sedan togs fyra fotografier kant i kant runt punkten för att sedan genomgå bildanalys. Slutligen klipptes ett biomassaprov på 1 m² runt punkten.

För att jämföra sensormätning med biomassa, kvävemängd och kvävehalt användes indexen NDVI, GNDVI, OSAVI, NIR/Red, NIR/Green, REIP, TrVI, TCARI och TC/OS. Dessutom användes även våglängderna 780 nm, 850 nm och 780-670 nm för att korrelera de tre parametrarna. Efter detta kunde sedan intressanta index med hög korrelation väljas ut, vilka redovisades grafiskt. För att utvärdera sambanden mellan sensormätningar och bildanalys valdes två index ut, vilka plottades mot grödans täckningsgrad. NIR/Green var det index som valdes för vidare studier och detta användes därför till att följa försökens ledskillnader över tid. De värden som NIR/Green gav för varje led vid ett mättillfälle korrelerades till ledens sammanvägda medelvärde vid samma mättillfälle. På samma sätt relaterades kärnskördens vilket visades som sista punkten på kurvorna. Sedan testades sambanden mellan ledens relativtal vid vecka 21 och relativtal vid skörd genom att plotta dessa mot varann. Detta gjordes för att se om ledskillnaden vid vecka 21 fanns kvar vid skörd.

4. Resultat

4.1 Samband mellan biomassa och kvävehalt

Studien avsåg att korrelera olika index till biomassa, kvävemängd och kvävehalt, dessa parametrar är dock också inbördes korrelerade till varandra. För grödorna höstvetete, vårsäd och raps var sambanden mellan biomassa och kvävehalt linjära, se Figur 3. I tidiga stadier visade raps på högst och höstvetete på lägst kvävehalt vid en given biomassa. Skillnaden minskade dock vid senare utvecklingsstadier.



Figur 3. Sambanden mellan biomassa och kvävehalt för grödorna höstvetete, vårsäd och raps.

4.2 Index för enskilda grödor

4.2.1 Index för höstvetete

För höstvetete var det indexet NIR/Green som gav högst korrelation med biomassan, se Tabell 3. Med ett exponentiellt utseende på trendlinjen kunde en förklaringsgrad på 72,4 procent uppnås. Detta index hade även god korrelation med kvävemängden och då med ett R^2 – värde på 0,764. För kvävehalten var indexet något sämre då detta endast hade en förklaringsgrad på 21,8 procent. NDVI i sin tur hade ett R^2 – värde på 0,549 vid korrelation med biomassan. Sambandet med kvävemängden var något högre, 0,586, dock var korrelationen med kvävehalten mycket låg; 0,078. Reflektansen i 780 nm gav en god korrelation med både biomassan och kvävemängden, 0,631 respektive 0,593. Sambandet med kvävehalten var däremot svagare, förklaringsgraden uppgick till 30 procent. Reflektansen i 780 nm minus reflektansen i 670 nm gav något sämre korrelation med kvävehalt än vid bara 780 nm. Detta index visade dock på bättre samband med biomassa och kvävemängd, 0,653 respektive 0,640.

Tabell 3. Korrelationen som R^2 -värden mellan index och biomassa, kvävemängd och kvävehalt. Regressionstyp anges enligt exp. = exponentiellt, pot. = potens och poly. = polynom

Höstvete	Biomassa g/m ²	Kvävemängd g/m ²	Kvävehalt g/g _{ts}
NDVI	0,549 exp.	0,586 exp.	0,078 poly.
GNDVI	0,660 exp.	0,717 exp.	0,223 poly.
OSAVI	0,600 exp.	0,633 exp.	0,157 poly.
NIR/Red	0,573 pot.	0,569 exp.	0,067 poly.
NIR/Green	0,724 exp.	0,764 exp.	0,218 poly.
REIP	0,286 exp.	0,407 exp.	0,017 poly.
TrVI	0,562 exp.	0,545 exp.	0,189 poly.
TCARI	0,162 exp.	0,087 exp.	0,056 poly.
TC/OS	0,386 exp.	0,353 exp.	0,255 pot.
780 nm	0,631 exp.	0,593 exp.	0,300 poly.
850 nm	0,640 exp.	0,595 exp.	0,318 poly.
780-670 nm	0,653 exp.	0,640 exp.	0,281 poly.

4.2.2 Index för vårsäd

NDVI hade god korrelation med både biomassa ($R^2= 0,875$) och kvävemängd ($R^2= 0,913$), men visade något sämre samband med kvävehalten ($R^2= 0,398$), se Tabell 4. Högst korrelation med biomassa gav indexet NIR/Green vilken också hade högt samband med kvävemängden. Vad det gällde kvävehalten så hade NIR/Green något sämre korrelation än de enkla våglängderna. Ytterligare ett index som visade på starka samband var TrVI. För biomassa och kvävemängd hade indexet ett R^2 -värde på 0,903 respektive 0,911. Dessutom var korrelationen med kvävehalten relativt hög, då R^2 -värdet visade på 61,5 procents förklaringsgrad. Reflektansen i 780 nm hade hög korrelation med både kvävemängden (0,887) och biomassan (0,867). Likaså var sambandet med kvävehalten hög, vilken hade en förklaringsgrad på 64,7 procent. Även indexet 780-670 nm gav god korrelation med kvävemängden och biomassan. Kvävehalten hade dessutom ett bra samband med indexet, vilket gav ett R^2 -värde på 0,633. Lägst samband fanns mellan REIP och samtliga parametrar.

4.2.3 Index för raps

För raps visade NDVI ett relativt bra samband med både biomassan och kvävemängden, förklaringsgraden uppgick till 90,3 procent respektive 93,8 procent, se Tabell 5. Med kvävehalten var det dock en lägre korrelation, $R^2= 0,307$. Även NIR/Green hade god korrelation med biomassan och kvävemängden, och då med ett R^2 -värde på 0,916 respektive 0,910. Liksom för NDVI var sambandet med kvävehalten något lägre. TrVI visade även för raps god korrelation med biomassa, kvävemängd och kvävehalt. Förklaringsgraden för

kvävmängden och indexet 780-670 nm var 94,4 %. Likaså var korrelationen hög mellan indexet och biomassan, liksom mellan indexet och kvävehalten. Lägst korrelation för samtliga parametrar hade indexet TC/OS, som inte hade något R²-värde över 0,272.

Tabell 4. Korrelationen som R²-värden mellan index och biomassa, kvävmängd och kvävehalt. Regressionstyp anges enligt exp. = exponentiellt, pot. = potens, lin. = linjär och poly. = polynom

Vårsäd	Biomassa g/m²	Kvävmängd g/m²	Kvävehalt g/g_{ts}
NDVI	0,875 exp.	0,913 exp.	0,398 poly.
GNDVI	0,922 exp.	0,933 exp.	0,526 poly.
OSAVI	0,913 exp.	0,937 exp.	0,521 poly.
NIR/Red	0,894 pot.	0,928 pot.	0,410 poly.
NIR/Green	0,933 pot.	0,934 pot.	0,576 poly.
REIP	0,655 exp.	0,737 pot.	0,297 poly.
TrVI	0,903 exp.	0,911 exp.	0,615 poly.
TCARI	0,715 exp.	0,860 exp.	0,300 poly.
TC/OS	0,706 exp.	0,710 pot.	0,524 poly.
780 nm	0,867 exp.	0,887 pot.	0,647 poly.
850 nm	0,855 exp.	0,880 pot.	0,647 poly.
780-670 nm	0,907 exp.	0,920 pot.	0,633 poly.

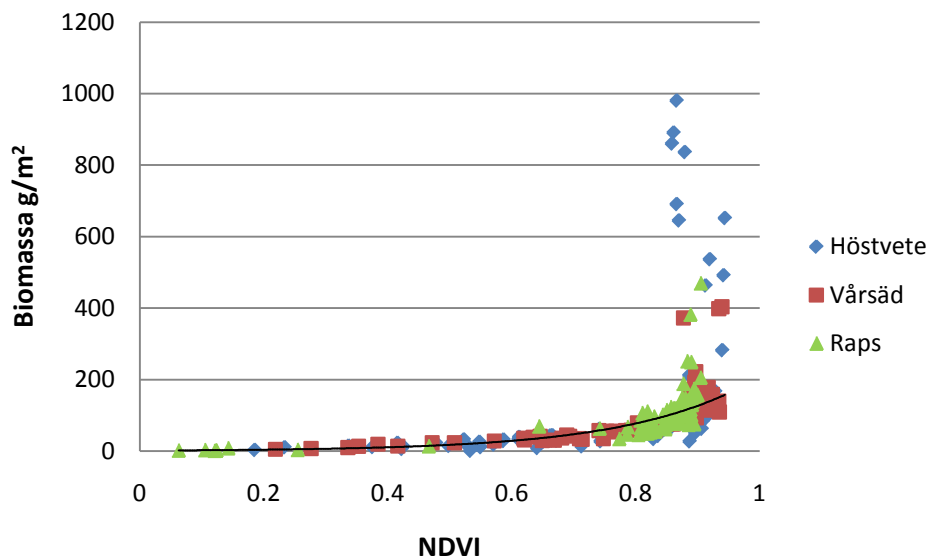
Tabell 5. Korrelationen som R²-värden mellan index och biomassa, kvävmängd och kvävehalt. Regressionstyp anges enligt exp. = exponentiellt, pot. = potens, lin. = linjär och poly. = polynom

Raps	Biomassa g/m²	Kvävmängd g/m²	Kvävehalt g/g_{ts}
NDVI	0,903 exp.	0,938 exp.	0,307 poly.
GNDVI	0,921 exp.	0,932 exp.	0,485 poly.
OSAVI	0,922 exp.	0,925 exp.	0,503 poly.
NIR/Red	0,907 pot.	0,908 pot.	0,434 poly.
NIR/Green	0,916 pot.	0,910 pot.	0,522 poly.
REIP	0,738 exp.	0,782 exp.	0,111 poly.
TrVI	0,891 exp.	0,936 pot.	0,610 poly.
TCARI	0,841 pot.	0,906 pot.	0,300 poly.
TC/OS	0,272 exp.	0,262 lin.	0,100 poly.
780 nm	0,860 pot.	0,823 pot.	0,616 poly.
850 nm	0,846 pot.	0,804 pot.	0,618 poly.
780-670 nm	0,915 pot.	0,944 pot.	0,613 poly.

4.3 Biomassa korrelerad till index för samtliga grödor

4.3.1 Biomassa som funktion av NDVI

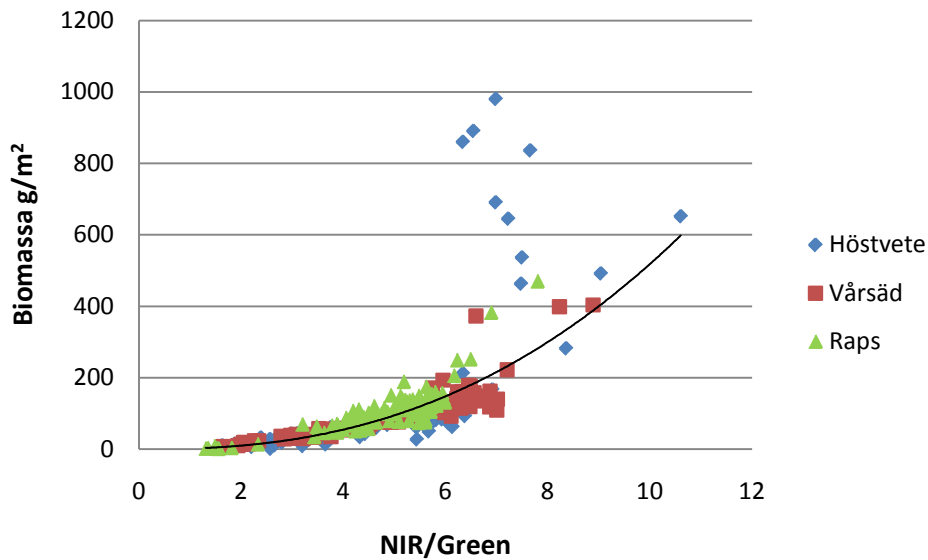
För höstvetete, vårsäd och raps var korrelationen mellan biomassa och NDVI god, se Figur 4. Sambandet var som störst vid låga värden och som lägst vid senare utvecklingsstadier. Serierna följer den exponentiella regressionslinjen relativt väl och ingen serie avviker märkbart från denna vid tidiga mätningar. Regressionslinjens förklaringsgrad var ca 73%.



Figur 4. Korrelationen mellan klippt biomassa och indexet NDVI. Grafen innefattar grödorna höstvetete, vårsäd och raps från sju jordbearbetningsförsök. Regressionslinjens ekvation var $y = 1,4841e^{4,9412x}$ med ett R^2 -värde på 0,7293.

4.3.2 Biomassa som funktion av NIR/Green

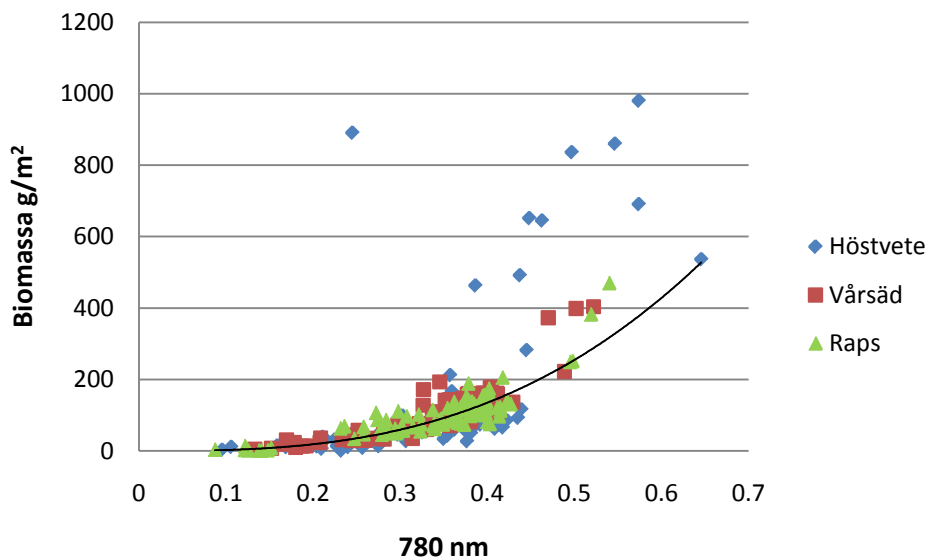
Ett starkt samband fanns mellan indexet NIR/Green och biomassan som var klippt, se Figur 5. De olika serierna skiljde sig åt, då vårsäd och raps följde regressionslinjen bättre än höstvetete som hade högre spridning på värdena i senare utvecklingsstadier. Starkast samband fanns vid låga värden och svagast samband fanns vid högre biomassa per kvadratmeter.



Figur 5. Korrelationen mellan klippt biomassa per kvadratmeter och indexet NIR/Green. De olika leden som var representerade var höstvet, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 1,8267x^{2,4526}$ med ett R^2 -värde på 0,8139.

4.3.3 Biomassa som funktion av 780 nm

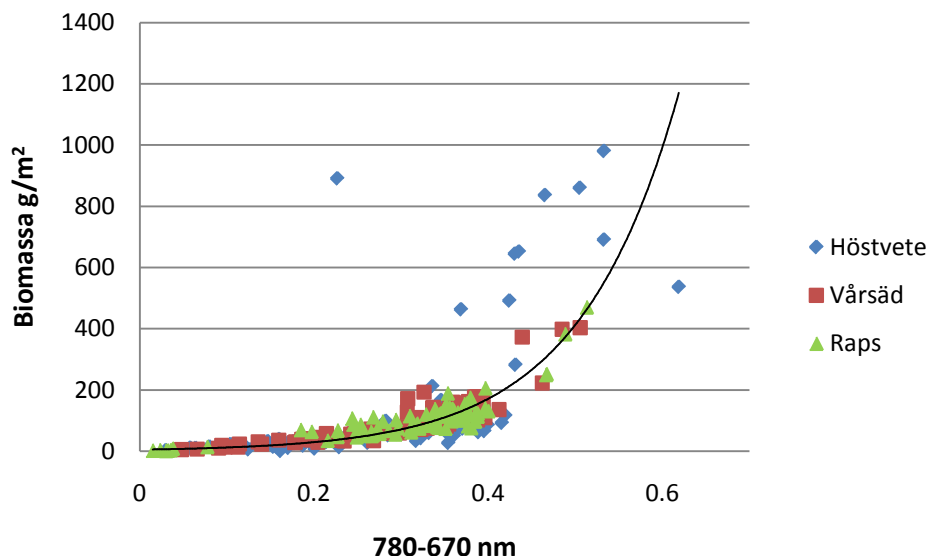
Det förelåg starka samband mellan vikten biomassa per kvadratmeter och den reflektans som grödan gav vid 780 nm, se Figur 6. Serierna vårsäd och raps gav något starkare korrelation till indexet då höstvet avvek starkt från regressionslinjen vid höga värden. Vid låga värden följde serierna regressionslinjen mycket starkt.



Figur 6. Korrelation mellan biomassavikter och reflektansen vid 780 nm. De olika serierna bestod av höstvet, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 1834,6x^{2,8491}$ med ett R^2 -värde på 0,7316.

4.3.4 Biomassa som funktion av 780-670 nm

Det fanns en god korrelation mellan indexet 780-670 nm och vikten biomassa per kvadratmeter, se Figur 7. Vårsäd och raps avvek mycket lite från regressionslinjen. Höstvetet avvek dock i högre utsträckning från regressionslinjen och då framförallt i sena utvecklingsstadier.

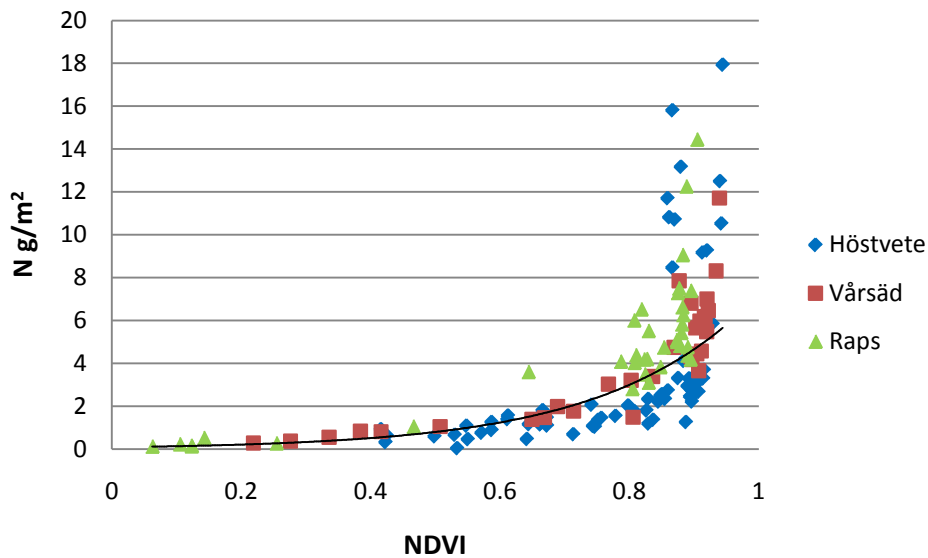


Figur 7. Korrelationen mellan vikten på klippt biomassa och indexet 780-670 nm. Grafen innefattar serier med höstvetet, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 5,1319e^{8,7749x}$ med ett R^2 -värde på 0,7714.

4.4 Kvävmängd korrelerad till index för samtliga grödor

4.4.1 Kvävmängd som funktion av NDVI

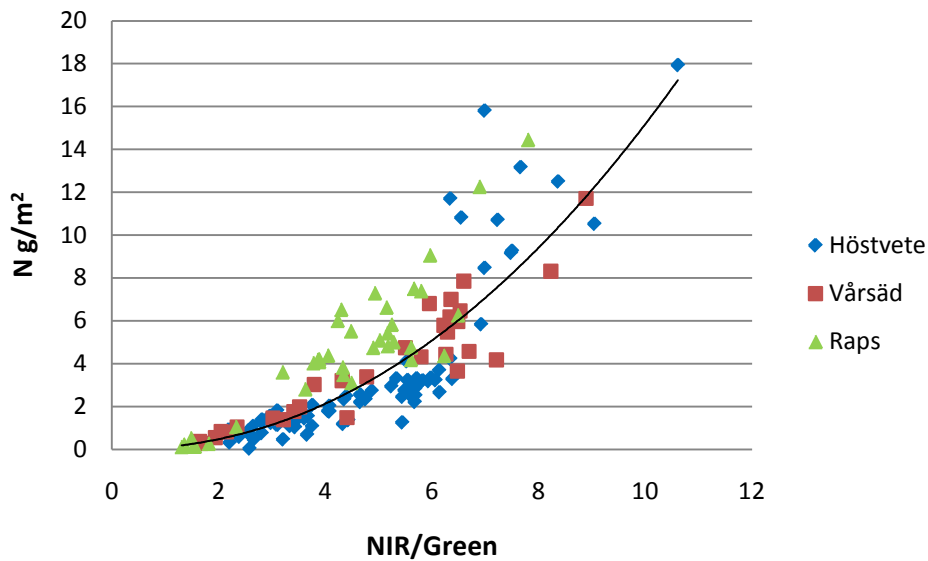
Kvävmängden per kvadratmeter hade en relativt god korrelation med indexet NDVI och då framförallt till en början, se Figur 8. Indexet blev sedan mättat vilket gav en sämre korrelation vid högre kvävmängder. Raps och vårsäd följde regressionslinjen relativt bra. Höstvetet var den serie som hade störst spridning på värdena och då framförallt i sena utvecklingsstadier. Raps visade på högst kvävmängd vid givet värde på indexet och höstvetet visade på lägst.



Figur 8. Kvävmängd per kvadratmeter plottat mot NDVI för samtliga försök med höstvete, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 0,0891e^{4,3959x}$ med ett R^2 -värde på 0,7063.

4.4.2 Kvävmängd som funktion av NIR/Green

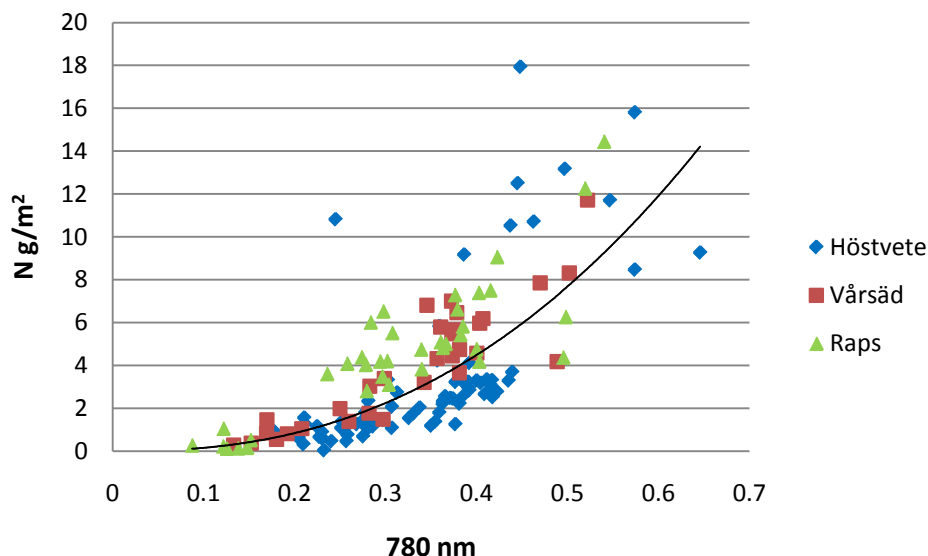
I försöken visade samtliga led god korrelation mellan kvävmängd och NIR/Green, se Figur 9. Minst spridning från regressionlinjen gav vårsäd, följt av höstvete och raps. Raps var den serie som hade högst kvävmängd givet ett värde på indexet. Höstvete hade lägst kvävmängd vid ett givet indexvärde.



Figur 9. Grafen visar kvävmängden per kvadratmeter korrelerat mot NIR/Green. Dataserierna bestod av samtliga försök med höstvete, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 0,11x^{2,1398}$ med ett R^2 -värde på 0,7821.

4.3.3 Kvävmängd som funktion av 780 nm

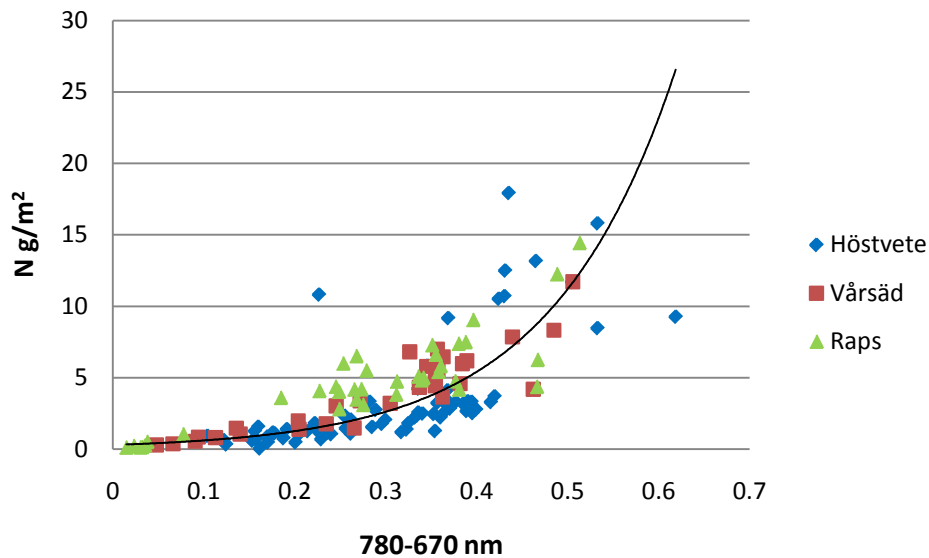
Figur 10 visade på goda korrelationer mellan kvävmängd per kvadratmeter och reflektans i 780 nm. För höstvetete var dock spridningen stor från regressionslinjen vid sena mätningar. Vårsäd var den serie som följde regressionslinjen bäst med minst spridning av värdena. Raps hade högst kvävmängd vid ett givet värde på indexet och höstvetete lägst.



Figur 10. Kvävmängd per kvadratmeter plottat mot reflektansen i 780 nm för samtliga försök med höstvetete, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 40,718x^{2,4053}$ med ett R^2 -värde på 0,6486.

4.4.4 Kvävmängd som funktion av 780-670 nm

Goda korrelationer gick att finna mellan kvävmängden per kvadratmeter och indexet 780-670 nm för samtliga grödor, det vill säga höstvetete, vårsäd och raps, se Figur 11. Högst korrelation fanns vid låga värden på kvävmängd. Höstvetete var den serie som gav högst spridning från regressionslinjen och då framförallt vid sena mätningar. Raps hade högst kvävmängd givet ett värde på indexet och höstvetete hade lägst.

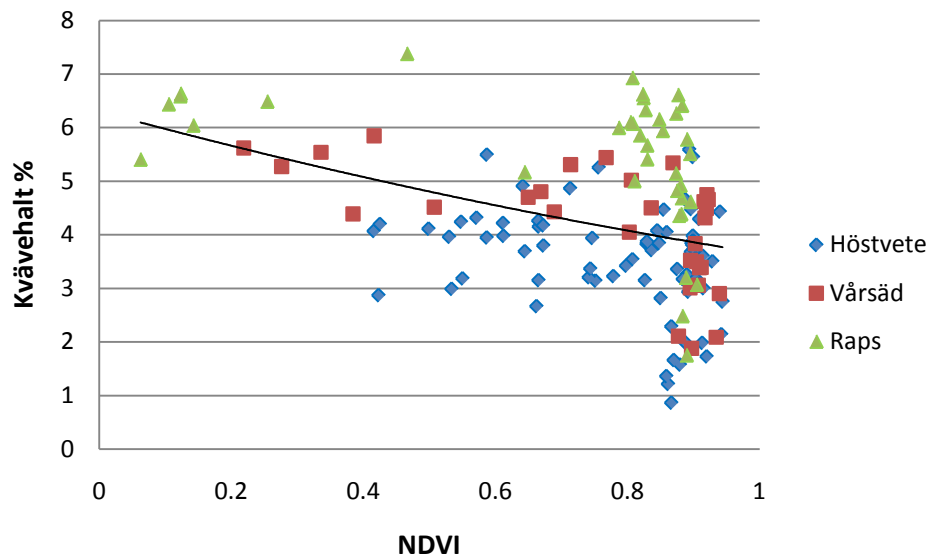


Figur 11. Grafen visar korrelationen mellan mängden kväve per kvadratmeter och reflektionen 780 nm minus reflektionen i 670 nm. Dataserierna består av samtliga försök med höstvet, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 0,2955e^{7,2711x}$ med ett R^2 -värde på 0,6924.

4.5 Kvävehalt korrelerad till index för samtliga grödor

4.5.1 Kvävehalt som funktion av NDVI

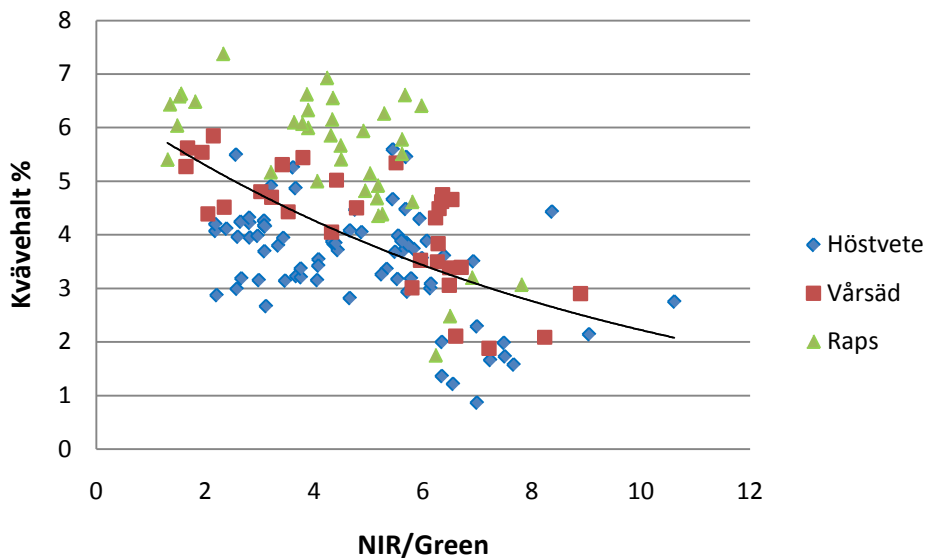
Sambandet mellan kvävehalten och indexet NDVI var svagt, se Figur 12. För höstvet och raps var korrelationen mycket låg och värdena skilde sig mycket från regressionslinjen, då föga struktur kunde ses. Serien med vårsäd visade på tydligast samband med NDVI vilken hade värden som följde regressionslinjen relativt bra. Raps följt av vårsäd visade på högst kvävehalt givet ett värde på indexet och höstvet på lägst.



Figur 12. Totalkväve i procent av torrsubstans gröda plottat mot indexet NDVI för försöken med höstvete, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 0,6965x^2 - 3,3394x + 6,3032$ med ett R^2 -värde på 0,1447.

4.5.2 Kvävehalt som funktion av NIR/Green

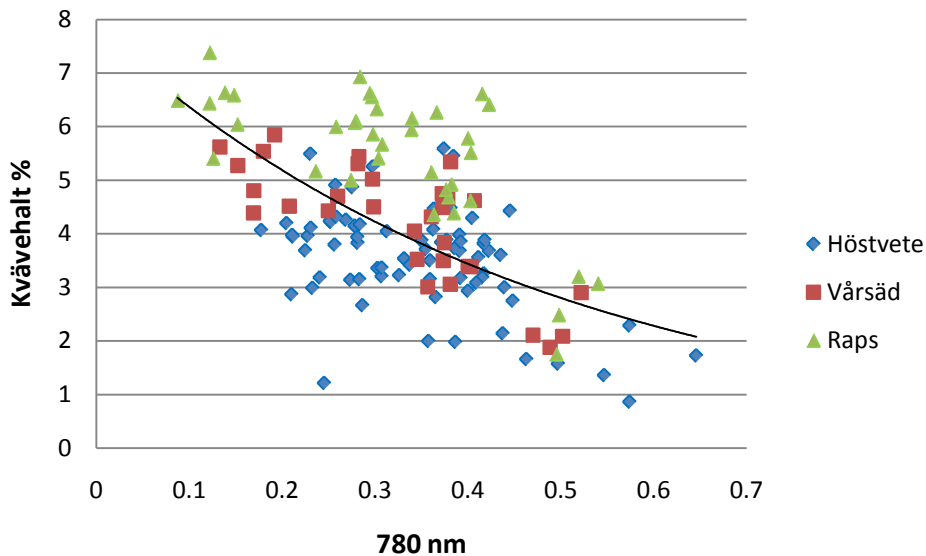
Mellan kvävehalten och indexet NIR/Green kunde ett relativt starkt samband urskiljas, se Figur 13. Vårsäd var den serie som avvek minst från regressionslinjen och raps var den serie som avvek i högst utsträckning. Höstvete visade på lägst kvävehalt vid ett givet värde på indexet och raps var den gröda som visade på högst.



Figur 13. Kvävehalt plottat mot indexet NIR/Green för försöken med höstvetete, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 6,5866e^{-0,109x}$ med ett R²-värde på 0,2769.

4.5.3 Kvävehalt som funktion av 780 nm

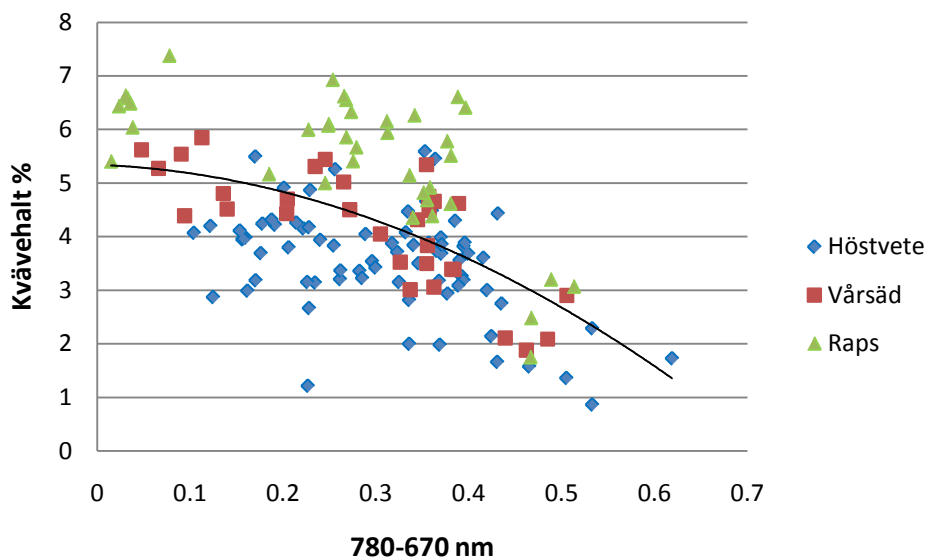
Reflektansen vid 780 nm hade en viss korrelation till kvävehalten i de olika serierna, se Figur 14. Vårsäd var den serie som avvek i lägst utsträckning från regressionslinjen följt av höstvetete och raps. Raps hade högst kvävehalt givet ett värde på indexet och höstvetete hade på lägst.



Figur 14. Totalkväve i procent av torrsubstans plottat mot reflektansen i våglängden 780 nm för försöken med höstvetete, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = 7,8203e^{-2,052x}$ med ett R²-värde på 0,3231.

4.5.4 Kvävehalt som funktion av 780-670 nm

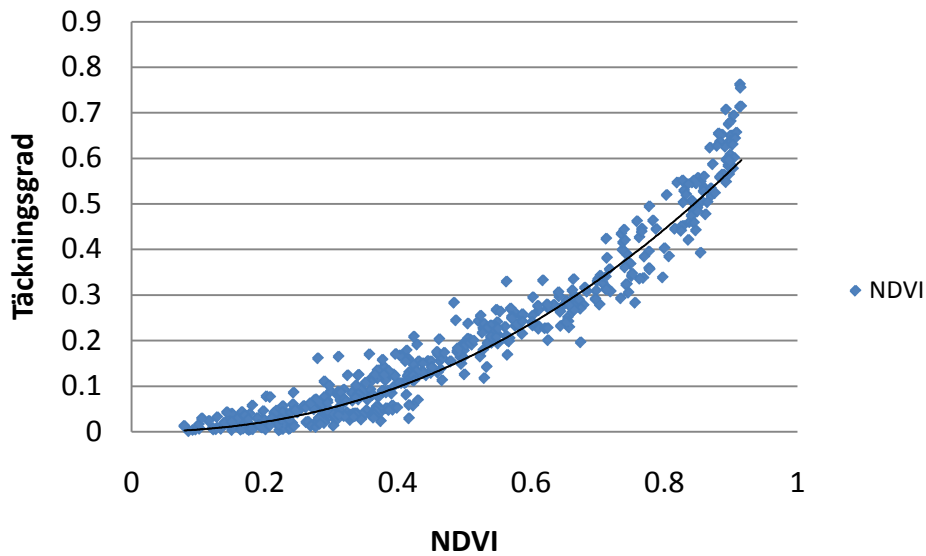
Korrelationen mellan kvävehalten och indexet 780-670 nm var relativt låg, se Figur 15. Vårsäd var den serie som följde regressionslinjen i högst utsträckning. För höstvetete och raps låg värden mestadels under respektive över linjen.



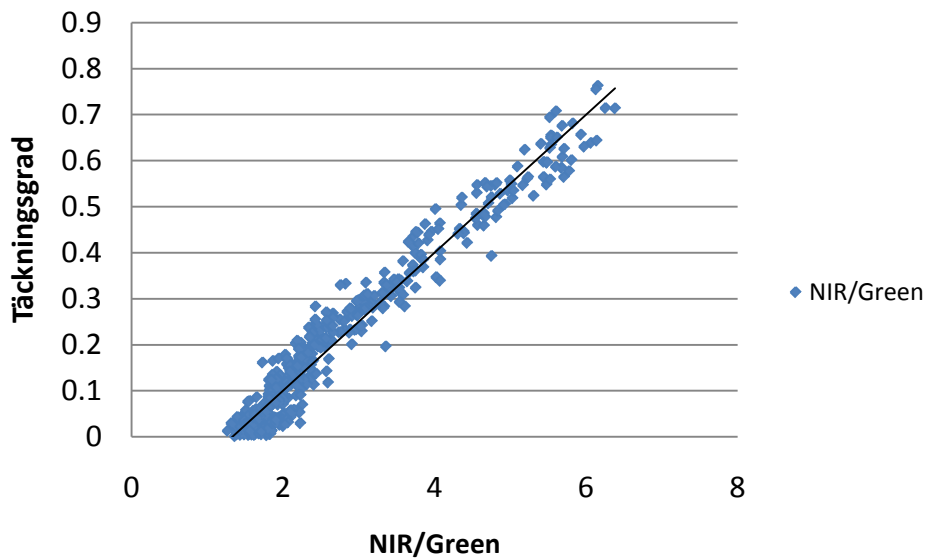
Figur 15. Kvävehalt plottat mot reflektansen i våglängderna 780 – 670 nm för försöken med höstvetete, vårsäd och raps. Regressionslinjens ekvation var $y = -9,3372x^2 - 0,6633x + 5,3418$ med ett R^2 -värde på 0,2955.

4.6 Grödors täckningsgrad som funktion av Index

Korrelationen mellan grödans täckningsgrad, uttryckt i procent, och indexet NDVI var mycket hög för höstvetete, se Figur 16. De plottade värdena följde en trendlinje med en potensekvation där förklaringsgraden var nära 86 procent. Indexet NIR/Green visade på ännu högre korrelation med grödans täckningsgrad, se Figur 17. I detta fall var trendlinjens ekvation linjär med en förklaringsgrad på 95 procent.



Figur 16. Sambandet mellan grödans täckningsgrad i procent och indexet NDVI för samtliga försök med höstvet. Regressionslinjens ekvation var $y = 0,7222x^{2,1786}$ med ett R^2 - värde på 0,8573.

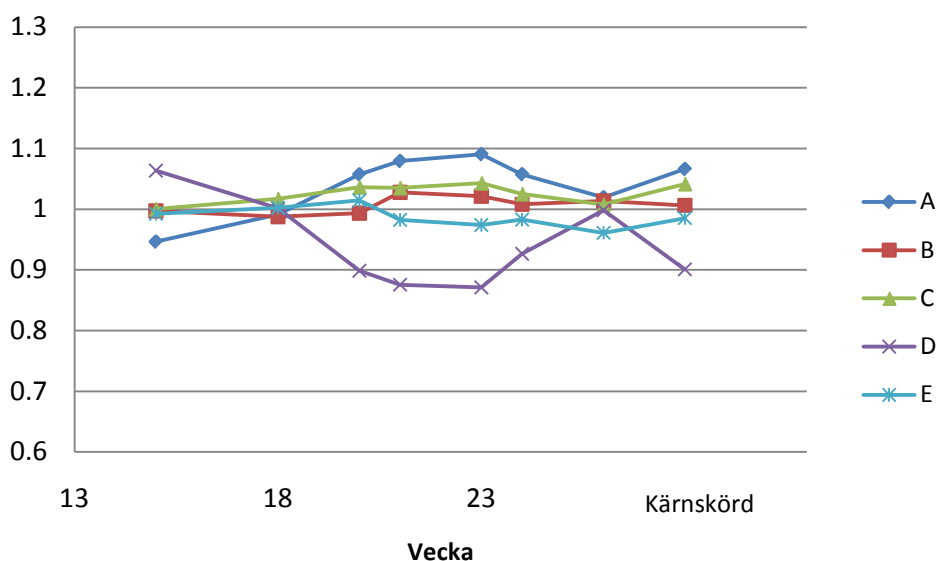


Figur 17. Sambandet mellan grödans täckningsgrad i procent och indexet NIR/Green för samtliga försök med höstvet. Regressionslinjens ekvation var $y = 0,1498x - 0,1992$ med ett R^2 - värde på 0,9518.

4.7 Ledskillnader i försöken

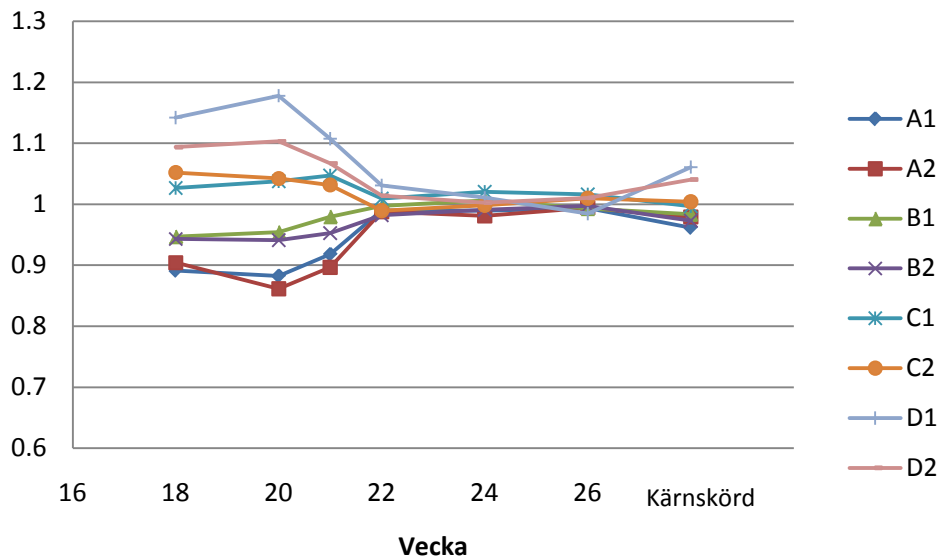
4.7.1 Ledskillnader i veteförsök

Figur 18 visar hur leden förhöll sig till varandra i försöket 4007 under mätperioden. När första mätningen gjordes i vecka 15 visade diagrammet att det skiljde en del i relativt tal mellan leden. Efter vecka 18 låg dock det plöjda ledet högst i relation till de andra leden och det var också det ledet som gav högst kärnskörd (v. 28). Led B och C låg nära det plöjda ledet vid mätningen vecka 18, men hade relativt sett lägre biomassa under de sex veckorna efter denna mätning och hade även en lägre kärnskörd. Led D var den behandling som låg lägst sedan vecka 20 och det var också den behandling som gav lägst skörd. Mätillfällena mellan vecka 21 och vecka 24 är de mätningar som hade störst överensstämmelse med kärnskörd.



Figur 18. Ledskillnader i försök 4007 vilka relateras till medelvärdet av samtliga försök vid mätillfället. Led A är plöjning varje år, led B är plöjning vissa år, övriga år enbart yttlig bearbetning. Led C är plöjning vissa år, övriga år luckring till plogdjup. Led D är aldrig plöjning, enbart yttlig bearbetning. Led E är aldrig plöjning, enbart luckring till plogdjup. Det index som användes var NIR/Green. Mätningarna utfördes mellan vecka 15 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörd relaterat till ledens medelvärde av skörden.

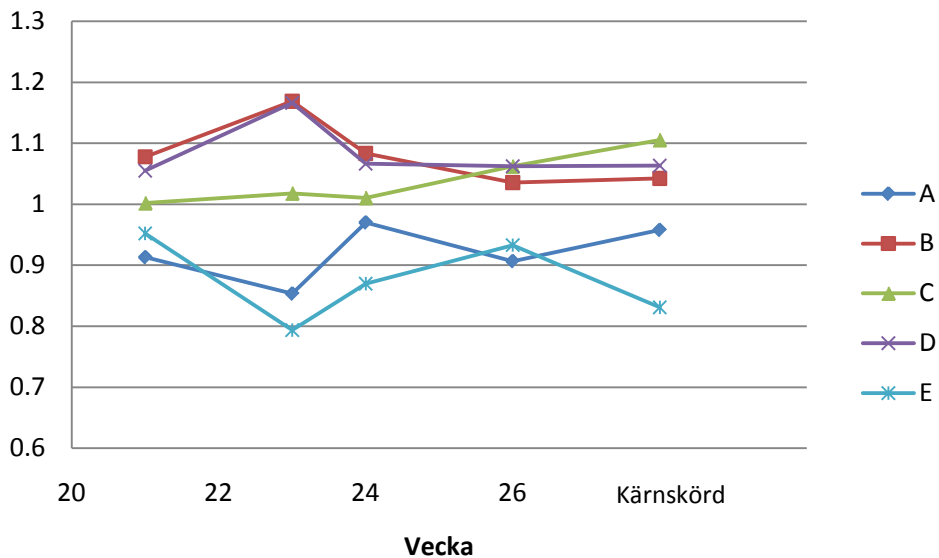
I försök 5077 hade de djupplöjda leden lägst biomassa vid alla mätillfällen, se Figur 19. Det var också led A1 som gav den lägsta kärnskörd. De behandlingar som resulterade i högst kärnskörd var också den behandling som hade högst relativ biomassa under försökets gång, nämligen D1 och D2 som var kombinationsredskap för grundbearbetning. Det var inte några större skillnader mellan fungicid och ej fungicidbehandlade led med samma jordbearbetningsmetod. De skillnader som fanns till en början minskade med tiden men fanns ändå kvar vid kärnskörd.



Figur 19. Ledskillnader relaterade till medelvärden i höstveteförsök R2-5077. A1 = plöjt led, ej fungicidbehandlat; A2 = plöjt, fungicidbehandlat; B1 = grund plöjning, ej fungicidbehandlat; B2 = grund plöjning, fungicidbehandlat; C1 = kombinationsredskap för djup bearbetning, fungicidbehandlat; C2 = kombinationsredskap för djup bearbetning, ej fungicidbehandlat; D1 = kombinationsredskap för grundbearbetning, ej fungicidbehandlat; D2 = kombinationsredskap för grund bearbetning, fungicidbehandlat. Mätningarna utfördes mellan vecka 18 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörden relaterat till ledens medelvärde av skörden. Det index som användes var NIR/Green.

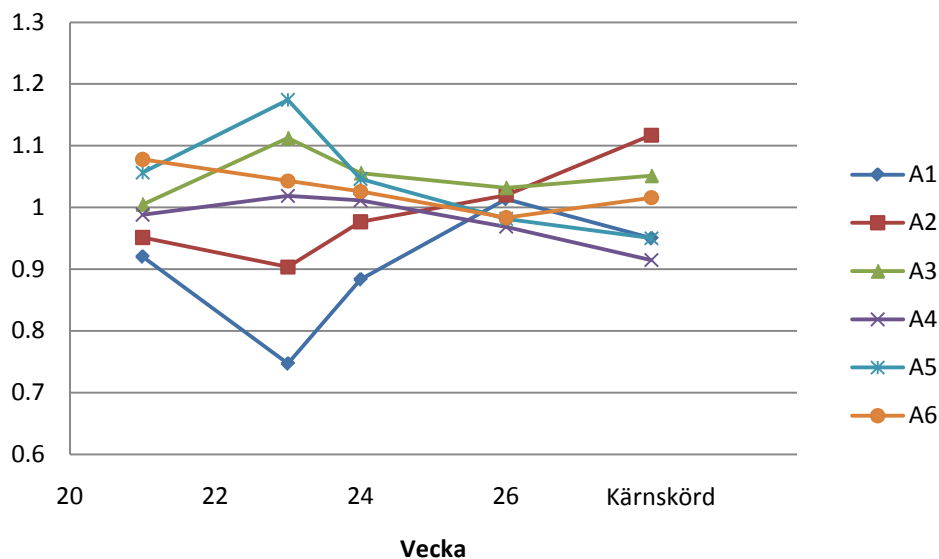
4.7.2 Ledskillnader i vårrapsförsök

Top Down två gånger till tio centimeter var den behandling som gav högst kärnskörd (106 %) i försöket 4127 med vårraps, se Figur 20. Detta trots att den under större delen av mätperioden hade lägre relativt tal än både Top Down en gång till tio centimeter och Top Down en gång till tjugo centimeter, som för övrigt följde varandra väl under perioden. Den behandling som visade lägst relativt tal under hela mätperioden och så även vid kärnskörd var Top Down två gånger till tjugo centimeter.



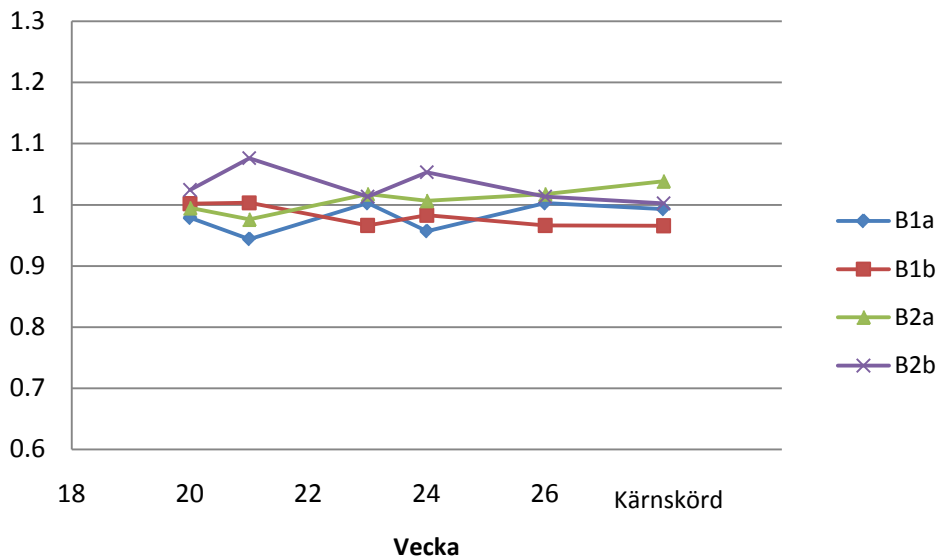
Figur 20. Ledskillnader i försök 4127 med vårraps. Leden relateras till medelvärdet av samtliga led vid mättillfället. Led A är plöjning, led B är Top Down 1 gång till 10 cm djup. Led C är Top Down 2 gånger till 10 cm djup. Led D är Top Down 1 gång till 20 cm djup. Led E är Top Down 2 gånger till 20 cm djup. Mätningarna utfördes mellan vecka 21 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörd relaterat till ledens medelvärde av skörden. Det index som användes var NIR/Green.

I försöket 4140 hade det plöjda ledet lägst relativt tal under i princip hela mätperioden, men var inte den behandling som slutligen gav lägst kärnskörd, se Figur 21. Det gjorde istället djupkultivator med styv pinne. Ledet med grund plöjning är den behandling som hade näst sämst relativt tal under mätperioden, likväl gav den högst kärnskörd på 112 %. Det direktsådda ledet var den behandling som hade högst relativt tal vid det första mättillfället men som till slut gav 101 % av medelvärdet vid kärnskörd.



Figur 21. Skillnader mellan rapsled i försök 4140. Leden relateras till medelvärdet av samtliga led vid mättillfället. A1 är djup plöjning, led A2 är grund plöjning till 12 cm, led A3 är kultivator till 10-12 cm, led A4 är djupkultivator med styv pinne till 20 cm, A5 Carrier till 5-7 cm och led A6 är direktsådd. Det index som användes var NIR/Green. Mätningarna utfördes mellan vecka 21 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörden relaterat till ledens medelvärde av skörden.

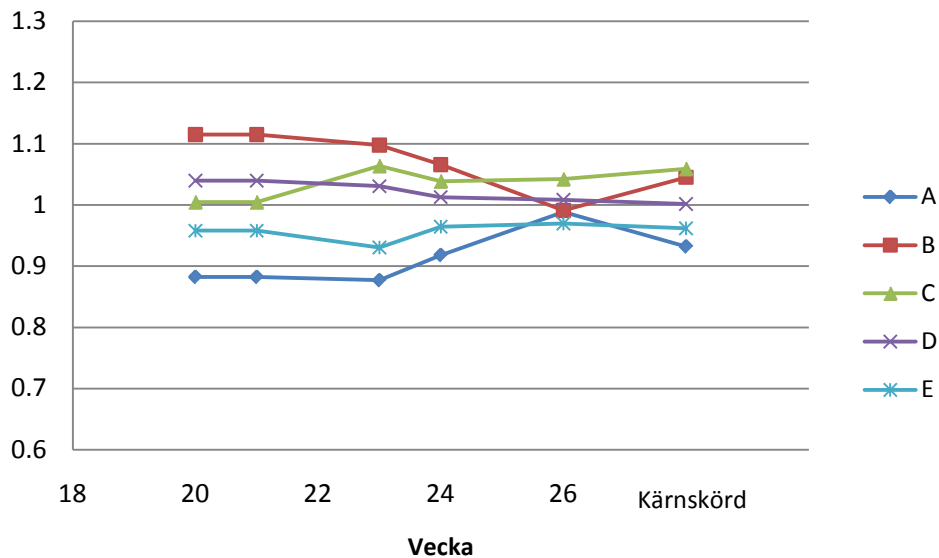
Det var små ledskillnader i försöket 5079, se Figur 22. Intensivt vårbruk med ett sådjup på 4 cm är den behandling som till en början visade högst relativtal, trots det gav detta led relativt sett ingen märkbart högre kärnskörd än ledet med normalt vårbruk med ett sådjup på 2 cm, trots att det senare legat under medelvärdet under säsongen. Högst kärnskörd gav normalt vårbruk med ett sådjup på 4 cm med relativtal 1,04. Detta led hade legat något över medelvärdet men relativt jämnt under mätperioden. Intensivt vårbruk med ett sådjup på 2 cm låg över medelvärdet vid tidiga mätningar, men hade lägre relativtal vid de senare mätningarna och vid kärnskörd hade detta led lägst relativtal på 0,97.



Figur 22. Ledskillnader relaterade till medelvärden i försöket 5079 med vårraps och normal såtidpunkt. B1a är ett led med normalt vårbruk (2 harvningar) och med ett sådjup på 2 cm. B1b är ett intensivt vårbruk (ca 4 harvningar) med ett sådjup på 2 cm. B2a är ett normalt vårbruk med ett sådjup på 4 cm. B2b är ett intensivt vårbruk med ett sådjup på 4 cm. Mätningarna utfördes mellan vecka 20 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörden relaterat till ledens medelvärde av skörden. Det index som användes var NIR/Green.

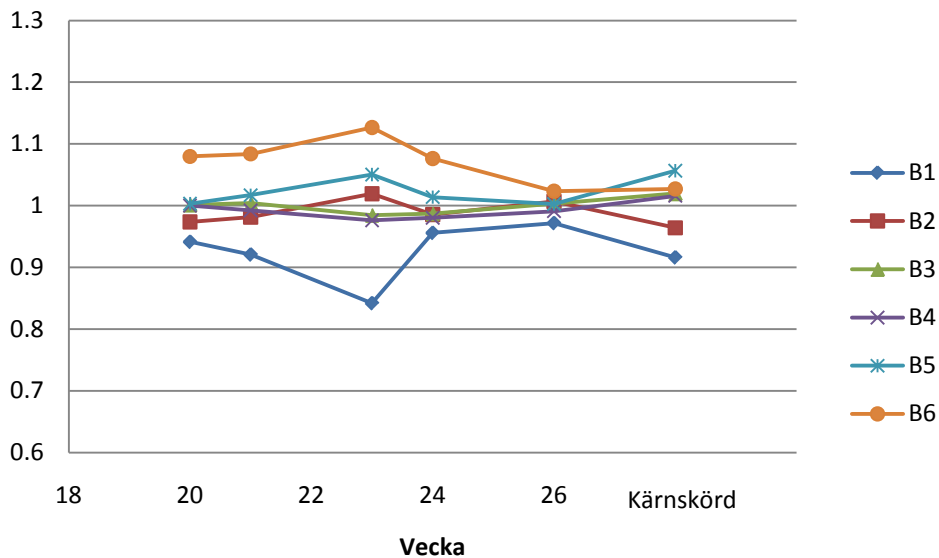
4.7.3 Ledskillnader i vårsädsförsök

I försöket 4127 med vårvete var ledskillnaderna tydliga till en början, se Figur 23. Det plöjda ledet hade lägst relativt tal under mätperioden och resulterade i lägst kärnskörd. Top Down med en överfart till tio centimeter, led B, var den behandling som hade högst relativt tal under mätperioden och den resulterade till slut i en kärnskörd på 6 % över medelvärdet. Högst kärnskörd gav slutligen Top Down med två överfarter till tio centimeter, detta led hade dock inte så högt relativt tal i de två tidiga mätningarna. Top Down med två överfarter till tjugo centimeter var den behandling, som hade näst lägst relativt tal under hela perioden och avkastade vid kärnskörd 7 % mindre än medelvärdet.



Figur 23. Ledskillnader i försöket 4127 med vårvete relaterade till ledens medelvärde. Led A är plöjning, Led B är Top Down 1 gång till 10 cm djup. Led C är Top Down 2 gånger till 10 cm djup. Led D är Top Down 1 gång till 20 cm djup. Led E är Top Down 2 gånger till 20 cm djup. Grödan var vårvete och mätningarna utfördes mellan vecka 20 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörden relaterat till ledens medelvärde av skörden. Det index som användes var NIR/Green.

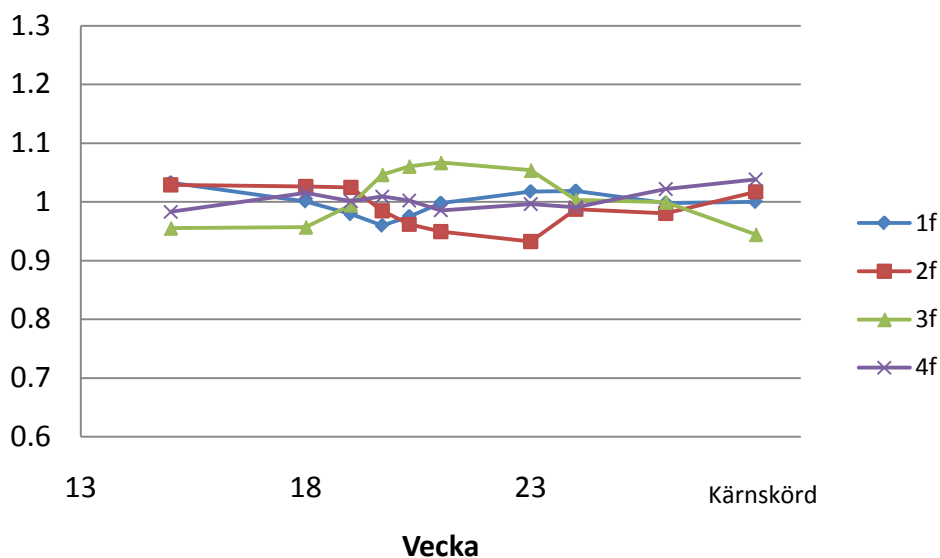
Det var relativt små ledskillnader i försök 4140 med korn under slutet av mätperioden, se Figur 24. Det var bland annat direktsådd som visade på ett högt relativtal under de tidiga mätningarna. Denna behandling gav 3 % högre kärnskörd än medelvärdet. Allra högst kärnskörd gav Carrier till 5-7 cm (106 %), som dessutom hade haft näst högst relativtal under mätperioden. De resterande behandlingarna med reducerad bearbetning följde varandra väl och hade höga relativtal tidigt under mätperioden. Dessa minskade sedan med tiden, dock avkastade samtliga led högre än det plöjda ledet.



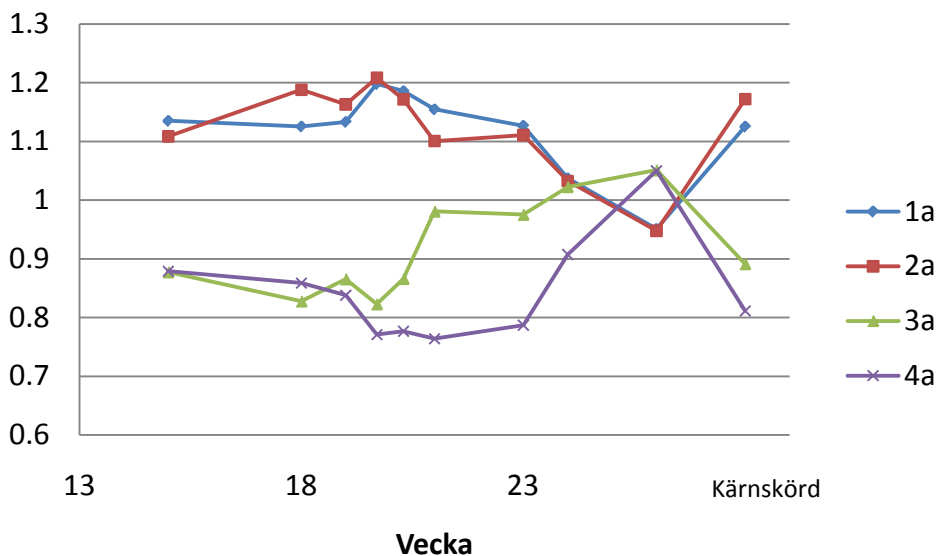
Figur 24. Skillnader mellan kornled i försök 4140. Leden relateras till medelvärdet av samtliga led vid varje mätfällfälle. Led B1 är plöjning, Led B2 är grund plöjning till 12 cm, led B3 är kultivator till 10-12 cm, led B4 är djupkultivator med styv pinne till 20 cm, B5 Carrier till 5-7 cm och led B6 är direktsådd. Det index som användes var NIR/Green. Mätningarna utfördes mellan vecka 20 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörden relaterat till ledens medelvärde av skörden.

4.7.4 Jämförelse mellan bra och dålig förfrukt

I försök 9402 som testar samspelet mellan förfrukt och jordbearbetningsmetod kunde tydliga skillnader ses mellan behandlingarna. Med ärt som förfrukt varierade biomassan relativt lite mellan konventionell- och reducerad jordbearbetning, se Figur 25. Fungicidbehandlingen hade inte något stort genomslag under sensormätningarna, tendensen var snarare att lägre relativtal kunde ses i dessa led. Vid skörd var skillnaderna i relativtal fortfarande små, vilket innebär mindre än 10 %. Däremot visade leden med höstvetete som förfrukt på stora skillnader under mätperioden. Som mest hade reducerad jordbearbetning cirka 43 % mindre i relativtal än den konventionella jordbearbetningen, se Figur 26. Vid senare mätningar hade dock dessa skillnader minskat, dock var skillnaden i relativtal vid skörd som mest över 35 %. Fungicidbehandlingen hade inte heller här resulterat i något högre relativtal, utan hade till och med lägre relativtal under mätperioden.



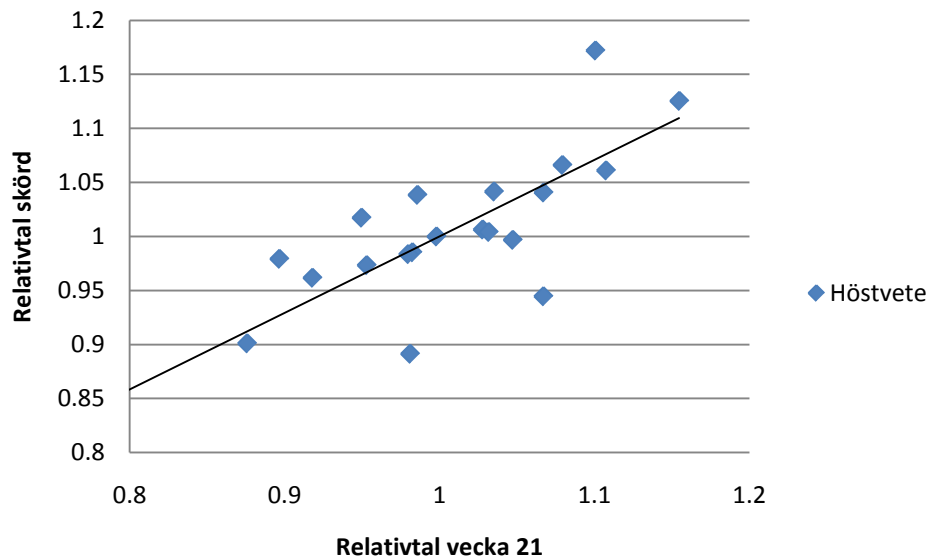
Figur 25. Ledskillnader i försöket 9402 med ärt som förfrukt. Leden relateras till medelvärdet av samtliga led vid mättillfället. Led 1f är konventionell jordbearbetning utan fungicidbehandling. Led 2f är konventionell jordbearbetning med fungicidbehandling, led 3f är reducerad jordbearbetning utan fungicidbehandling och led 4f är reducerad jordbearbetning med fungicidbehandling. Det index som användes var NIR/Green och mätningarna utfördes mellan vecka 15 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörden relaterat till ledens medelvärde av skörden.



Figur 26. Ledskillnader i försöket 9402 med vete som förfrukt. Leden relateras till medelvärdet. Led 1a är konventionell jordbearbetning utan fungicidbehandling. Led 2a är konventionell jordbearbetning med fungicidbehandling, led 3a är reducerad jordbearbetning utan fungicidbehandling och led 4a är reducerad jordbearbetning med fungicidbehandling. Det index som användes var NIR/Green och mätningarna utfördes mellan vecka 15 och 26. Kärnskörd innebär den relativa kärnskörden relaterat till ledens medelvärde av skörden.

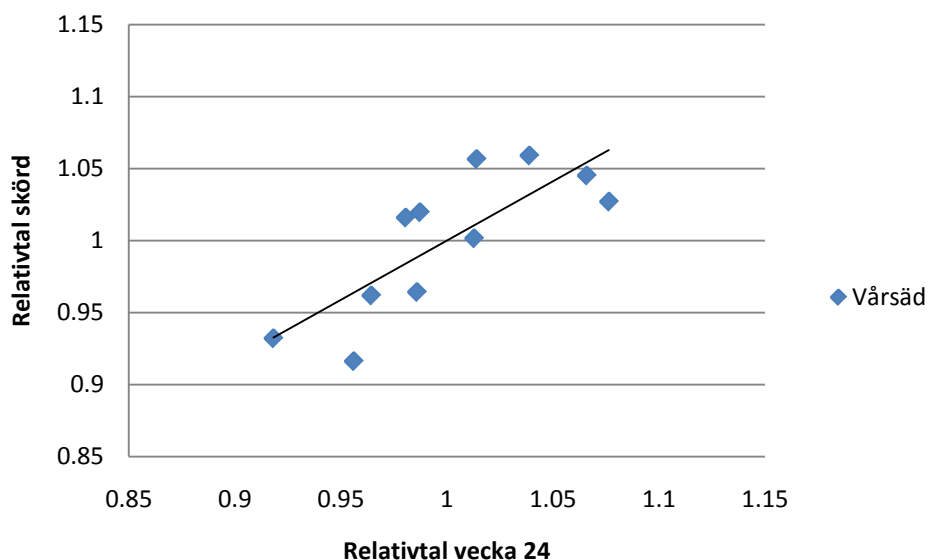
4.7.5 Prognos för skörd

I Figur 27 visas att den relativa skörden för höstvetete har god korrelation med sensormätningen som gjordes vecka 21. Punkterna följer relativt bra en linje som sträcker sig diagonalt genom grafen.



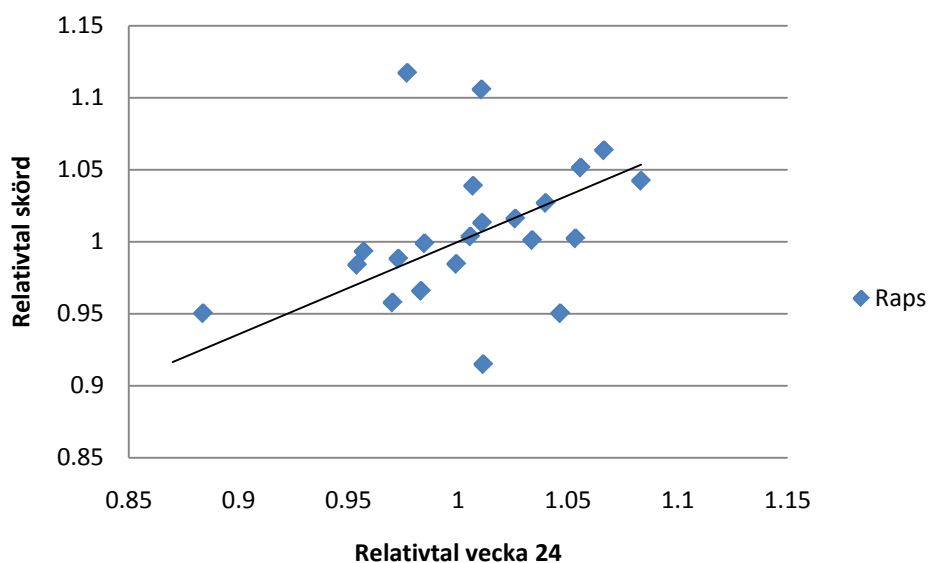
Figur 27. Den relativa kärnskörd för höstvetete plottat mot den relativa sensormätningen vecka 21. Det index som användes var NIR/Green. Regressionslinjens ekvation var: $y = 0,7076x + 0,2924$ med ett R^2 -värde på 0,66.

För vårsäd visas korrelationen mellan relativtalen för skörd och relativtalen för sensormätningen vecka 21 i figur 28. Även här går att tyda den linje som punkterna följer diagonalt genom grafen.



Figur 28. Den relativa kärnskörden för vårsäd plottat mot den relativa sensormätningen vecka 21. Det index som användes var NIR/Green. Regressionslinjens ekvation var: $y = 0,8239x + 0,1761$ med ett R^2 -värde på 0,63.

I Figur 29 visas korrelationen mellan relativt för skörd och relativt för sensormätningen vecka 21 i rapsförsök. Punkterna var relativt bra samlade runt en linje diagonalt genom grafen. För rapsen fanns dock något fler punkter som avvek från mängden än för vårsäd.



Figur 29. Den relativa kärnskörden för raps plottat mot den relativa sensormätningen vecka 21. Det index som användes var NIR/Green. Regressionslinjens ekvation var: $y = 0,6423x + 0,3577$ med ett R^2 -värde på 0,31.

5. Diskussion

5.1.1 Index

I de tre jordbearbetningsförsöken med höstvetete visade sig indexet NDVI ha vissa brister, eftersom indexet relativt snabbt blev mättat vilket omöjliggjorde mätningar i sena utvecklingsstadier. Detta är något som även Carlson & Ripley, (1997) har visat som en nackdel med indexet. NDVI gav trots detta relativt god korrelation med biomassa och kvävemängden, men dessvärre mycket låg korrelation med kvävehalten. För vårsäd och raps hade dock NDVI mycket bättre samband. Detta var i enlighet med vad Pettersson et al. (2006) fick för resultat vid försök med vårkorn. Detta har nog sin förklaring i att sensormätningar inte utfördes så sent på dessa grödor, vilket innebar att indexet inte var lika mättat som för höstvetet. GNDVI som är konstruerat i enlighet med NDVI, men med andra våglängder, visade på bättre korrelation i samtliga grödor och parametrar. Detta kan förklaras med att GNDVI fungerar bättre vid högre LAI-värden och högre klorofyllkoncentrationer enligt Shanahan et al. (2001).

I denna studie var det indexet NIR/Green som fungerade mest tillfredställande för samtliga grödor och parametrar. Att korrelationen mellan NIR/Green och kvävehalten var så pass hög är dock lite förvånande. Det verkar orimligt att ett index fungerar tillfredställande för samtliga parametrar då kvävehalten är kvävemängden dividerat med biomassa. Risken är nämligen att korrelationen har sin förklaring i ett så kallat falskt samband som uppstod på grund av att kvävehalten sjunker i och med att biomassa ökar i större utsträckning än kvävemängden och därmed blev kvävekoncentrationen lägre i växten. För höstvetete var NIR/Green det index som gav högst korrelation för både biomassa och kvävemängd, liksom det gav ett relativt bra samband med kvävehalten. Även för vårsäd och raps var NIR/Green bland de index med högst korrelation till biomassa och kvävemängd, likväl som det var relativt god korrelation till kvävehalt.

Den parameter som verkade ha störst inverkan för korrelationen med valda index var biomassa. När det gäller kvävemängd uppmättes olika värden för olika grödor vid ett givet värde på indexen. Raps hade med samtliga index ett högre värde på kvävemängd/halt än vårsäd och höstvetete. En trolig förklaring är att raps hade en högre kvävehalt än höstvetete och vårsäd vid ett givet värde på biomassa (figur 3).

I vårsäd och raps fanns mycket goda korrelationer mellan indexet TrVI och kvävemängden, även biomassa hade bra samband men dock något lägre. Mest utmärkande var ändå TrVI's korrelation till kvävehalten som låg relativt högt för båda grödorna. REIP var ett av de indexen som hade allra lägst korrelation till de olika parametrarna i samtliga grödor. Detta är något som helt går emot vad bland annat Sticksel et al. (2004) kom fram till i sin rapport. De hävdade att REIP var användbar för att urskilja skillnader i biomassa inom ett fält med höstvetete.

Att använda reflektansen i endast en våglängd och då 780 nm visade på goda samband. För höstvetete var korrelationen med samtliga parametrar, det vill säga biomassa, kvävemängd och kvävehalt, relativt god. I jämförelse med NIR/Green var korrelationen något sämre för vårsäd och raps med 780 nm. Dock var sambanden med kvävehalten bättre än för till exempel NIR/Green. Korrelationen mellan parametrarna blev dock ännu bättre om reflektansen i 780

nm subtraherades med reflektansen i 670 nm och då framför allt när det gällde biomassa och kvävehalt för raps och vårsäd.

Denna studie visade på att det finns flera bra index att välja mellan när det gäller att bestämma biomassa och kvävemängd med hjälp av sensorer. Svårast verkar dock vara att få riktigt bra korrelation till kvävehalten. Detta kan ha sin förklaring i att det är två parametrar som bör beaktas. Kvävehalten är ju nämligen den faktiska kvävemängden dividerat med den totala biomassan, vilket gör att det finns två osäkerhetsfaktorer.

5.1.2 Bildanalys i jämförelse med sensormätningar

Att använda en vanlig digitalkamera på stativ verkar vara fullt möjligt för att få tillräckligt bra bilder för att utföra en bildanalys. Denna metod fungerade bra fram till dess att grödan slöt sig och därmed hade uppnått en täckningsgrad på hundra procent. Bildanalysen hade sedan mycket hög korrelation till sensormätningarna genom indexet NDVI, men framförallt med indexet NIR/Green. Det kan därför ses som överflödigt att använda bildanalys om en sensor finns att tillgå. Bildanalys har dock vissa fördelar jämfört med sensormätningar. Bildanalysen urskiljer nämligen bara grönt växtmaterial till skillnad från sensorn som mäter all reflektans, därmed även den reflektans som dött organiskt material (halmrester) ger upphov till. Dessutom är det en väsentlig skillnad i investering mellan en digitalkamera på stativ jämfört med en handsensor.

5.1.3 Sensormätningar för att se utveckling av ledskillnader

Det är mycket som händer i fältförsök från att grödan sås till att den skördas. Sensormätningar har potentialen att vara en metod som kan ge svar på när ledskillnader uppkommer under säsongen. Försöken har nämligen visat att det med relativtal går att se när ledskillnaderna uppkommer och hur de fluktuerar över tid. Det är framför allt i tidiga stadier som skillnaderna är som tydligast mellan leden. Vid mycket tidiga mätningar utgör grödan dessvärre en liten del av marktäckningen och risken är därför större att bland annat halmrester och bakgrundsreflektans ger missvisande resultat, då sensorn mäter all reflektans, det vill säga även den som inte orsakats av grödan. Att ledskillnaderna sedan minskar har nog både sin förklaring i att grödan allt eftersom den växer kompenserar med ökad tillväxt vid till exempel lågt plantantal, men också i att reflektansen i dessa våglängder blir mättade när grödan sluter sig och vi får ett jämnt bestånd. Därmed tappar sensorn lite av sin effekt vid sena mätningar. I detta försök pågick mätningarna fram till slutet av juni och då började reflektansen vara mättad. Det berodde på att LAI var så högt att ytterligare ökning av biomassa och kvävemängd inte påverkade reflektansen. Det är således inte nödvändigt att mäta med sensorn senare än början på juli, detta beror dock på vilken gröda som ska mätas. När relativtalen för vecka 21 (höstvet) respektive 24 (raps och vårsäd) plottades mot relativtalen för skörd visade graferna goda samband. Detta innebär att vi redan i vecka 21 respektive 24 kan se vilka led som troligtvis kommer att avkasta mest. Det ger oss också en indikation på när det är lönt att mäta med sensorn. Tidiga mätningar ger nämligen för mycket osäkerhet med bakgrundsreflektans (t.ex. halmrester) och sena mätningar innebär att skillnaderna försvinner

då LAI blivit för högt vilket inte ger någon skillnad i reflektans. Jag tycker vi fått tillfredställande resultat och är därmed positivt inställd till att använda sensorn i försöken då denna kan underlätta biomassabestämning och inte minst bidra med en förklaring till utvecklingen av ledskillnaderna i försöken. Ytterligare en fördel med metoden är att mätningarna utförs i skörderutan till skillnad från klippningarna, vilken innebär ett mer rättvisande resultat.

6. Slutsats

Användbarheten för sensorer har ökat under senaste tiden och så även i fältförsöksverksamheten. Den reflektans som växten ger upphov till var ett bra redskap för att uppskatta en grödas biomassa och kväveinnehåll under växtsäsongen. Detta skapar också mer förståelse för hur de olika behandlingarna har utvecklats och fluktuerat under säsongen. Det fanns flera index som hade tillfredställande korrelation med både biomassa och kvävemängd. För kvävehalten var korrelationen i allmänhet lägre. NIR/Green var det index som gav allra högst korrelation mellan samtliga grödor, biomassan och kvävemängden, trots sin relativt enkla konstruktion. Det klassiska indexet NDVI fungerade även det bra, men då framför allt vid tidiga mätningar och då med korrelation till biomassa och kvävemängd. Det fanns dessutom ett stort samband mellan parametrarna och reflektansen i våglängden 780 nm, vilken hade högre korrelation än flera av de mer etablerade indexen. Sensormätningar kan till viss del även ersätta funktionen av en bildanalys i biomassabestämningen, det ska dock tilläggas att bildanalysen har vissa andra kvaliteter som sensormätningar saknar. Att sedan använda sensormätningar till att urskilja ledskillnader fungerade mycket bra med indexet NIR/Green. Det kan därför nu vara möjligt att med en effektiv och relativt billig metod följa utvecklingen av grödorna i fältförsöken på ett tillförlitligt sätt under växtsäsongen.

Referenser

Skriftliga:

BROGE, N. H. & LEBLANC, E. 2001. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76, 156-172.

CARLSON, T. N. & RIPLEY, D. A. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62, 241-252.

GITELSON, A. A., KAUFMAN, Y. J. & MERZLYAK, M. N. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58, 289-298.

GUYOT, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies. I: Applications of Remote Sensing in Agriculture (red. Slevens. M.D., Clark. J.A.), s. 19-43. Cambridge.

HABOUDANE, D., MILLER, J. R., TREMBLAY, N., ZARCO-TEJADA, P. J. & DEXTRAZE, L. 2002. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81, 416-426.

HANSEN, P. M. & SCHJOERRING, J. K. 2003. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sensing of Environment*, 86, 542-553.

HATFIELD, J. L. & PRUEGER, J. H. 2010. Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices. *Remote Sensing*, 2, 562-578.

KLARSKOV HANSEN, P., NIELSEN, O., SVENSSON R., 2010. Reflektansmätning och fotoanalys följer betornas tillväxt. I: Betodlaren, fackskrift för betodlarna, s. 59-64, nr 3 september 2010.

OLSSON, C-M., 2010. Introduktion till Yara handsensor. Powerpoint presentation vid handsensormöte i Nässjö, 2010-02-02.

PETTERSSON, C. G., SODERSTROM, M. & ECKERSTEN, H. 2006. Canopy reflectance, thermal stress, and apparent soil electrical conductivity as predictors of within-field variability in grain yield and grain protein of malting barley. *Precision Agriculture*, 7, 343-359.

REUSCH, S. 1997. Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen [Development of an optical reflectance sensor for determining the nitrogen supply to agricultural plants]. *Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Germany.* (In German) p 155

SHANAHAN, J. F., SCHEPERS, J. S., FRANCIS, D. D., VARVEL, G. E., WILHELM, W. W., TRINGE, J. M., SCHLEMMER, M. R. & MAJOR, D. J. 2001. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agronomy Journal*, 93, 583-589.

SØGAARD, H. T. & OLSEN, H. J. 2003. Determination of crop rows by image analysis without segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 38, 141-158.

STICKSEL, E., SCHAECHTL, J., HUBER, G., LIEBLER, J. & MAIDL, F.-X. 2004. Diurnal variation in hyperspectral vegetation indices related to winter wheat biomass formation. *Precision Agriculture*, 5, 509-520.

THIAM A., EASTMAN, JR., 2001. Vegetation indices (Chapter 4). In: Eastman JR (eds) *idrisi32 Release 2*. Clark Labs, Worcester, MA, pp 89–101