

Bruker erfaringer med Yara N-sensor og systemets funksjon under skiftende solinnstrålingsvinkler

User experiences with Yara N-sensor and the system function under changing solar elevations

Hans Håkon Helmen



Førord

Opprettholdelsen av et produktivt landbruk i Norge er viktig. For at dette skal være mulig er det viktig at vi følger med på den tekniske utviklingen i våre naboland. Derfor har jeg valgt å studere anvendelsen og funksjonen av hjelpemiddelet ”Yara N-sensor” som bidrar til en bærekraftig matproduksjon av høy kvalitet, samtidig som miljøet ivaretas.

Det er mange personer som fortjener en stor takk i forbindelse med denne oppgaven. Først og fremst alle N-sensorbrukerne som har tatt seg god tid å svare på spørsmål angående deres anvendelse av N-sensoren.

Takk til Knud Nissen i Läntmannen Sverige for å ha lagt til rette og ledet meg rundt til de forskjellige N-sensorbrukerne, og for å ha gitt gode svar på et stort antall spørsmål.

Takk til Egil Samnøy ved Jarlsberg hovedgård for å ha lånt ut N-sensor, traktor og forsøksareal, og i tillegg stilt kontoret til disposisjon.

Takk til Yara Norge for å ha gitt stipend til arbeidet med denne oppgaven.

En stor takk til hovedveileder Nils Bjugstad (Institutt for matematiske realfag og teknologi, IMT) for tilrettelegging av oppgaven, god veiledning og nyttige tilbakemeldinger.

En stor takk rettes sist, men ikke minst til mine tilleggsveiledere ved UMB; Anne Kjersti Uhlen (Institutt for plante- og miljøvitenskap), Knut Kvaal (IMT) og Ellen Sandberg (Institutt for kjemi, bioteknologi og matvitenskap). Tusen takk for god veiledning og konstruktive tilbakemeldinger.

Hans Håkon Helmen

13. august 2011

Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås

Sammendrag

Med utgangspunkt i personlige intervjuer av ti Yara N-sensorbrukere, hovedsakelig fra relativt store gårdsdrifter rundt innsjøen "Vänern" i Sverige, er fordeler og utfordringer ved Yara N-sensorsystemet vurdert. Redusert legderisiko, sikring av høyt og jevnt proteininnhold i kornet samt jevnere og økt avling ble oppgitt som de viktigste fordelene ved N-sensorbasert nitrogengjødning. I tillegg anså de fleste brukerne økt treskekapasitet og redusert forbruk av innsatsmidler som viktige årsaker for investeringen. Effekten av fordelene var størst på jordskifter med store variasjoner i nitrogenstatus, forutsatt at systemet kunne variere dosen uten særlige innskrenkninger i minimums- og maksimumsdosering. På basis av disse fordelene og en tidligere utarbeidet kalkyle rettet mot potensielle N-sensorbrukere i Sverige, ble lønnsomheten anslått å være betydelig større under norske forhold. I følge dette regnskapet kunne systemet allerede tjenes inn etter 5 år ved N-sensorbasert gjødning av ca 520 daa hvete (*Triticum aestivum*) i Norge. Dette skyldtes hovedsakelig at kornprisen normalt settes betydelig høyere i Norge enn i Sverige, men også at verdien av redusert legderisiko kan settes høyere i Norge på grunn av en mer kupert topografi og dermed større legderisiko enn i Sverige. Brukervennligheten og brukerstøtten ved systemet ble ansett som meget god, der brukerens største utfordring var å finne rett gjødseldose ved kalibreringen i forhold til plantestandens behov. Varierende lysforhold under gjødning ble ansett som ubetydelig for funksjonen så lenge solinnstrålingsvinkelen ikke ble lavere enn 30°.

Ved N-sensorbasert gjødning styres doseringen i forhold til sensorens registrerte nitrogenbehov, mens doseringen styres av registrerte biomasseverdier ved åkersprøyting. Da det var forventet at det skulle forekomme en endring i disse verdiene ved skiftende solinnstrålingsvinkel i løpet av en dag, ble omfanget av denne endringen undersøkt gjennom et feltforsøk den 30. juni 2010. Forsøket ble gjennomført i tidsrommet fra 13:03 til 19:05, der solens innstrålingsvinkel skiftet fra 53,9° til 22°. I en vårhveteåker på Jarlsberg i Vestfold ble det kjørt tjue gjentak til ulike tidspunkt der N-sensoren gjorde registreringer av samme plantestand. Hvert gjentakts registrerte verdier for plantestandens biomasse og nitrogenbehov ble lagret hver for seg, henholdsvis som "Nitrogenkart" og "Biomassekart". Fargevariasjoner mellom disse gjentakenes respektive kart beskriver endringen i N-sensorens registrerte verdier for biomasse og nitrogenbehov ved ulike solinnstrålingsvinkler i forsøksrommet. Disse variasjonene er påvist gjennom bildeanalyse.

Resultatene fra bildeanalysen viste at N-sensorens registreringer av plantestandens nitrogenbehov ble redusert med 5 kg N/ha fra klokken 13:03 til 19:05, noe som vurderes som lite betydelig for planteveksten. For biomasseverdiene ble det påvist en mer betydelig reduksjon, tilsvarende 1,5 relative biomasseverdier fra klokken 13:49 til 19:05. I et tenkt eksempel der sprøytevæskedosen varierende i området fra 70 l/ha til 14 l/ha kunne denne endringen utgjøre ca 19 % reduksjon i tilført sprøytevæske.

Abstract

Based on personal interviews of ten Yara N-Sensor users, mainly from relatively large farms around the lake "Vänern" in Sweden, the benefits and challenges of the Yara N-Sensor system were considered. Reduced risk of lodging, ensuring high and uniform protein content in grain and more consistent and higher yield was given as the main benefits of N-sensor based nitrogen fertilization. In addition, most users considered the increased threshing capacity and reduced consumption of input factors as important reasons for investment in this system. The effects of the benefits were greatest in fields with large variations in nitrogen status, provided that the system can vary the dose without user defined restrictions in minimum and maximum dose. On the basis of these benefits and a previously developed calculation aimed at potential N-Sensor users in Sweden, profitability was estimated to be significantly greater under Norwegian conditions. According to these accounts the system already recovered after 5 years by N-sensor-based fertilization of approximately 520 acres of wheat (*Triticum aestivum*) in Norway. This was mainly due to grain price generally being significantly higher in Norway than in Sweden, but also that the value of reduced risk of lodging can be valued higher in Norway because of a more undulating topography and thus a larger risk of lodging than in Sweden. User-friendliness and support of the system was considered to be very good. The user's main challenge was to find the right fertilizer dose in relation to the plants needs. Varying light conditions during fertilization was considered insignificant for the function as long as the sun elevation was not lower than 30°.

The N-sensor-based fertilization controlled dosage in relation to the sensor register nitrogen needs, while the dosage is controlled by the registered biomass values by crop spraying. As it was expected that there would be a change in these values by changing sun elevation during the day, the extent of this change was examined through a field experiment on Jun. 30, 2010. The experiment was conducted in the period from 1:03 p.m. to 7:05 p.m., when the sun elevation changed from 53.9° to 22°. In a spring wheat crop in Jarlsberg in Vestfold, it was run twenty replicates at different times, where N-sensor made records of the same plant stand. Each repetition registered values for crop biomass and nitrogen requirements were stored separately, respectively, as "Nitrogen map" and "Biomass map". Color variations between these repetitives maps describe the change in N-sensor recorded values for biomass and nitrogen requirements of various sun elevations in observation period. These variations are detected through image analysis.

The results from image analysis showed that N-sensor readings of crop nitrogen requirements were reduced by 5 kg N / ha from 1:03 p.m. to 7:05 p.m. time, which is considered little significant for plant growth. For the biomass values there were found a more significant reduction, equivalent to 1.5 relative biomass values from at 1:49 p.m. to 7:05 p.m. In a hypothetical example where the spray liquid dose varied in the range from 70 l / ha to 14 l / ha, this could change amounts to about 19 % reduction in flow injection liquid.

INNHold

1. INNLEDNING	6
1.1 Yara N-sensorens funksjonsprinsipp	6
1.2 Bakgrunn	8
1.3 Problemstilling	9
2. BRUKERUNDERSØKELSEN	10
2.1 MATERIALE OG METODER	11
2.1.1 Spørsmålskjemaet	11
2.1.2 Gjennomføring av personlige intervjuer	11
2.1.3 Deltagerutvalget	12
2.2 RESULTATER OG DISKUSJON	14
2.2.1 Deltagernes anvendelse av N-sensorsystemet	14
2.2.2 Investeringsgrunnlag og ervervelser ved anvendelse av Yara N-sensor	14
2.2.3 Økonomi og lønnsomhet	20
2.2.4 Jordforholdenes innvirkning på N-sensorens funksjonalitet	23
2.2.5 Deltagernes anvendelse av gjødsel- og biomassekart	24
2.2.6 Brukervennlighet, kalibrering og brukerstøtte	25
2.2.7 Funksjonalitet under varierende lysforhold	30
3. FELTFORSØKET PÅ JARLSBERG	34
3.1 MATERIALE OG METODER	35
3.1.1 Forutsetninger for anvendt metode	35
3.1.2 Feltarbeid	35
3.1.3 Bearbeiding av innsamlet data	39
3.1.4 Statistisk dataanalyse	42
3.1.5 Vurdering av metodens egnethet for problemstillingen	43
3.2 RESULTATER OG DISKUSJON	44
3.2.1 RESULTATER	44
a) Resultater fra regresjonsanalyse	46
b) Residualer	48
c) Variasjon forklart av Avstand, Tid og Lysinnstråling	49
d) Reelle gjennomsnittsverdier for biomasse og N-applisering	54
3.2.2 DISKUSJON	55
a) Kalibrering av regresjonsmodell 1 og 2	55
b) Regresjonsmodellenes egnethet til å forklare variasjon i datasettene	56
c) Validering av regresjonsmodell 1 og 2	56
d) Korrelasjoner og multikolaritet mellom forklaringsvariabler	57
e) Variasjon i fargeintensitet avhengig av skiftende skyforhold	58
f) Variasjon i registrert biomasse og nitrogenbehov avhengig av tidspunkt	59
g) Metodikk	60
h) Betydningen av resultatene i praktisk sammenheng	61
4. KONKLUSJON - av brukerundersøkelsen og feltforsøket på Jarlsberg	63
4.1 Konklusjon for brukerundersøkelsen	64
4.2 Konklusjon for feltforsøket på Jarlsberg	64
5. LITTERATUR	66
6. VEDLEGG	70

1. INNLEDNING

I følge Pierce & Nowak (1999) innebærer begrepet ”presisjonsjordbruk” anvendelse av teknologiske hjelpemidler for å kunne behandle en plantekultur i forhold til dens spatiale og temporære behov. Hensikten er å optimalisere plantekulturens produksjonsevne samtidig som miljøbelastningen minimaliseres. Dette prinsippet er særlig aktuelt ved tilføring av nitrogen gjødsel og plantevernmidler, og det finnes i dag flere teknologiske nyvinninger som muliggjør steds spesifikk dosering av slike innsatsmidler. Blant disse er Yara N-sensor systemet¹ ett av de mest utbredte med 919 enheter i drift hovedsakelig i Europa² (Yara 2010a).

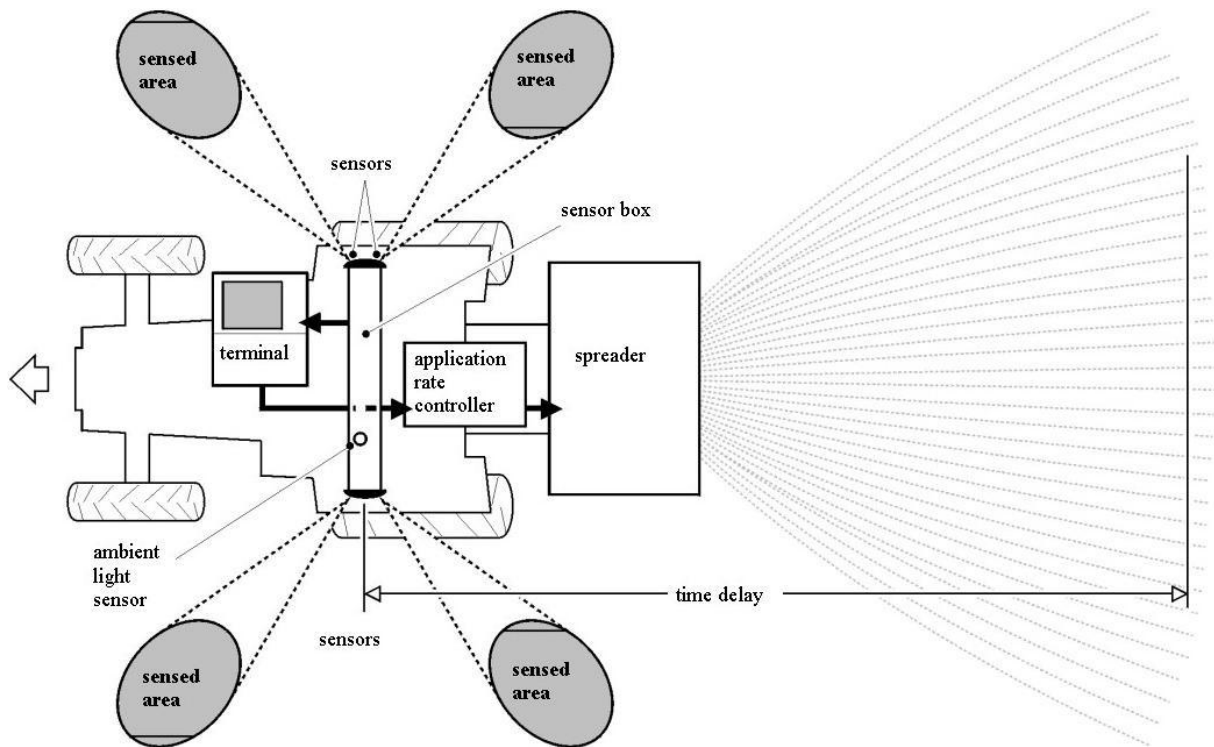
I 1998 ble prototypen av Yara N-sensoren for første gang benyttet i Sverige. Dette var med stor optimisme og høye forventninger om at systemet raskt skulle etablere seg som et naturlig hjelpemiddel blant korndyrkerne. Markedet var imidlertid begrenset i starten, men i 2008 bidro økte korn- og gjødselpriser til at systemet slo igjennom for fullt både i Sverige og ellers i Europa. (Huss 2008). Relativt store bruksstørrelser er imidlertid nødvendig for at investeringen i et slikt system skal være forsvarlig. I Norge er jordbrukets naturlige forutsetninger ganske forskjellig fra Sverige, spesielt med tanke på arrondering og bruksstruktur. Blant norske bønder har det derfor vært satset lite på N-sensor systemet. Frem til mai 2010 var kun to N-sensorer i drift på norske gårdsbruk, henholdsvis på Jarlsberg hovedgård i Vestfold og i en samdrift i Våler kommune i Østfold (Hansen 2010). På Jarlsberg hovedgård ble N-sensoren anskaffet allerede i 2000 og var eneste eksemplar i Norge frem til ervervelsen i Våler i 2010 (Samnøy 2008). Interessen rundt systemet er imidlertid økende i Norge, og per april 2011 har allerede 5 nye gårdbrukere investert i N-sensoren (Mellemstrand 2011).

1.1 Yara N-sensorens funksjonsprinsipp

N-sensoren fungerer som et ”on-the-go”-system der nitrogenbehov og relative biomasseverdier estimeres på grunnlag av spektralmålinger av plantestanden, samtidig som korresponderende mengde nitrogen eller sprøytemiddel tilføres, (se figur 1). Dette skjer ved at målte verdier for plantestandens biomasse og nitrogenstatus omformes via N-sensorterminalen til overensstemmende appliseringsdose. Disse transformerte verdiene overføres til gjødselsprederens/åkersprøytens styringsterminal som videre kommuniserer med sprederen/sprøyten. En tidsforsinkelse legges inn mellom registrering og applisering slik at innsatsmiddelet tilføres samme sted som registreringen ble foretatt, (se figur 1). (Yara 2004).

¹ Yara GmbH & Co. KG, Dülmen, Tyskland

² Per 20. mai 2010



Figur 1: Figuren viser N-sensorsystemets funksjonsprinsipp. Fire sensorer registrerer plantestandens reflekterte lys fra skrå høydevinkel i fire forskjellige lengderetninger. En femte sensor måler solens innstrålingsintensitet og kompenserer for varierende solinnstråling. Registrerte verdier omformes til appliseringsdose og overføres til gjødselsprederens/åkersprøytnes styringsterminal. Figuren er hentet fra N-sensorens brukermanual (Yara 2004).

Funksjonsprinsippet baserer seg på spektralmålingenes sammenheng med plantestandens nitrogenstatus (Cartelat et al. 2005; Link et al. 2005; Lukina et al. 2001) og biomasse (Hansen & Schjoerring 2003; Serrano et al. 2000; Todd et al. 1998). Nitrogenstatus kan i stor grad bestemmes av klorofyllinnholdet i bladverket ettersom nitrogen utgjør en essensiell bestanddel i klorofyllmolekylet (Cartelat et al. 2005; Read et al. 2002). Plantepigmentene karakteriserer lysrefleksjonen i det synlige lysspektret (400-700 nm) (Buschmann et al. 2000), der de grønne (520-565 nm) og røde (620-740 nm) bølgelengdene karakteriseres av klorofyllpigmentene (Read et al. 2002). Flere studier påviser også at de nær-infrarøde bølgelengdene (700-1000 nm) gir god beskrivelse av plantestandens biomasse (Gates et al. 1965; Guyot 1990). Refleksjonen fra dette spektralområdet karakteriseres av forskjellen i tetthet mellom intercellulært rom og vannmettede cellevegger i bladene, noe som relaterer til biomasse (Major et al. 2003). N-sensor systemets spektralmålinger utføres ved 20 forskjellige bølgelengder, der 5 av disse kan velges ut fra hvilke egenskaper ved plantestanden som skal registreres. Ettersom hensikten vanligvis er å gi et representativt bilde av plantestandens nitrogenstatus og biomasse fordeles disse rundt de grønne, røde og nær-infrarøde bølgelengdene (Hancock 2006). Eksempelvis påviser Lukina et al. (2001) god korrelasjon (0,75) mellom nitrogenopptak og reflektert lys ved målinger fra rødt/nær-infrarødt område (670/780 +/- 6 nm) etter å ha undersøkt sammenhengen i høsthvete (*Triticum aestivum L.*) over tre vekstsesonger.

1.2 Bakgrunn

En plantestands lysrefleksjon påvirkes i stor grad av varierende værforhold og skiftende solinnstrålingsvinkler. Dette gjelder spesielt dersom lysrefleksjonen måles loddrett ovenfra (nadir vinkel) (Major et al. 2003). Disse forstyrrende forholdene er tatt i grundig betraktning ved utviklingen av Yara N-sensorens tekniske oppsett, noe som har resultert i et konsept der innvirkningen av varierende solinnstråling på N-sensorens registreringer reduseres betraktelig. Selve N-sensor konstruksjonen består av fem sensorer plassert i en sensorboks som vanligvis monteres på traktortaket, (se figur 1). Fire av disse måler plantestandens reflekterte lys på hver sin side av traktoren, der hver sensor er rettet mot plantestanden fra skrå høydevinkel. Det femte spektrofotometeret står vinkelrett mot himmelen og måler solinnstrålingsintensiteten. Denne sensoren kompenserer for varierende lysinnstrålingsintensitet. (Yara 2004). I forhold til nadir målevinkel gir denne ”firesidede-skrå-geometrien” flere fordeler, blant annet reduseres registreringen av lysrefleksjon fra jordbunnen. Systemet kan dermed anvendes i plantekulturer ved tidlige utviklingsstadier uten at lysrefleksjon fra jordbunnen forstyrrer målingene (Demetriades-Shah 1987). I tillegg øker registrert areal med 50 % ved 45° målevinkel i forhold til måling fra nadir vinkel. Dette bidrar til høyere nøyaktighet ettersom en større andel av plantestanden representerer dens stedsspesifikke variasjon (Poss et al. 2006). Vanligvis stilles denne vinkelen noe videre (64°) for å unngå forstyrrelser fra traktorens skygge (Mistele & Schmidhalter 2008). Den største fordelen med målegeometrien er imidlertid registreringenes reduserte sensitivitet for måleretning i forhold til solens innstrålingsvinkel. Reduseringen forekommer ettersom de fire skråvinklede sensorene alltid vil måle både skyggesiden og solsiden av plantestanden. Ved å benytte gjennomsnittsverdiene fra disse fire målevinklene vil solens skiftende horisontale og vertikale innstrålingsvinkel i mindre grad virke inn på N-sensorens lysrefleksjonsregistreringer (Mistele 2005; Reusch 2003). Solens vertikale innstrålingsvinkel betegnes som bare ”innstrålingsvinkel” videre i oppgaven.

Det finnes lite tilgjengelig informasjon om innvirkningen av solens skiftende innstrålingsvinkel på Yara N-sensorens funksjon. Eventuelle upubliserte forskningsresultater var forventet å eksistere internt i Yara, men etter å ha forespurt Yara i Norge og Tyskland fremkom lite relevant stoff.

I et forsøk utført i Tyskland av Mistele & Schmidhalter (2008) ble det vist at spektrofotometriske registreringer av reflektert sollys fra maisplanter (*Zea mays cv. Banguy*) i liten grad var preget av varierende værforhold og solinnstrålingsvinkler over 30°. Disse registreringene var imidlertid utført ved relativt høye solinnstrålingsvinkler, der kun 2 av 16 registreringer var gjort ved solinnstrålingsvinkler lavere enn 40°. Ved sammenligning av registrert lysrefleksjon mellom registreringer foretatt ved solinnstrålingsvinklene 29° og 61° og ved ulike værforhold, ble det antatt at variasjonen i lysrefleksjon skyldtes ulike solinnstrålingsvinkler. Variasjon i lysrefleksjoner ble tilskrevet værforholdene ved sammenligninger av registreringer der solinnstrålingsvinklene var

omtrentlig konstant. I dette forsøket ble ikke Yara N-sensor benyttet, men det anvendte spektrofotometriske utstyret hadde tilsvarende konstruksjon og teknisk oppsett. Resultatene forventes derfor å være gjeldende for N-sensor systemet. Resultatene gir imidlertid ikke grunnlag for å vise innvirkningsomfanget av solens skiftende innstrålingsvinkel på N-sensorens funksjonalitet ved nitrogengjødsling og åkersprøyting.

I dag finnes N-sensoren tilgjengelig i to forskjellige utgaver. Den mest anvendte er den omtalte tradisjonelle N-sensoren der funksjonen er basert på reflektert sollys. Siste utgave, Yara N-sensor Active Light Source (ALS), ble introdusert i 2008 (Huss 2008). Denne utgaven har egen lyskilde og opererer helt uavhengig av dagslys. Varierende solinnstråling har derfor ingen innvirkning på ALS-utgavens funksjon (Yara 2011b).

1.3 Problemstilling

Dersom investeringen i Yara N-sensorsystemet skal være økonomisk forsvarlig blant norske gårdbrukere vil den tradisjonelle utgaven være mest aktuell per dags dato. Før en gårdbruker eventuelt investerer i et slikt system kan det være hensiktsmessig og på forhånd kartlegge andres erfaringer med systemet. Derfor ble det valgt å foreta en allsidig undersøkelse av hovedsakelig svenske og noen norske bønders erfaringer og opplevelser ved anvendelse av N-sensorsystemet. Sverige ble valgt på grunn av geografisk nærhet til Norge og fordi brukererfaringene i Sverige er opparbeidet allerede siden prototypen av systemet kom i 1998.

Selv om den firevinklede målegeometrien gjør at funksjonaliteten i mindre grad påvirkes av skiftende solinnstrålingsvinkler, er dette forholdet fortsatt begrensende for den tradisjonelle utgavens funksjonalitet og anvendelighet. Begrensningen forekommer ved lave solinnstrålingsvinkler morgen og kveld (Yara 2004). Informasjon om funksjonsendringen er imidlertid mangelfull og prøving av systemets funksjon under slike forhold er nødvendig. Derfor disponeres hoveddelen av arbeidet i denne oppgaven til å undersøke N-sensorens funksjon under forskjellige solinnstrålingsvinkler i løpet av en dag.

Disse betraktningene leder frem til følgende problemstillinger:

1 - Hvilke erfarte fordeler og utfordringer ved anvendelse av Yara N-sensorsystemet er mest fremtredende blant norske og svenske N-sensorbrukere?

A: Under hvilke forhold erfares disse fordelene og utfordringene?

B: Er lønnsomheten ved anvendelse av systemet forskjellig for brukere i Norge i forhold til i Sverige?

2 - Hvilken effekt har solens skiftende innstrålingsvinkel på Yara N-sensorens doseringsanbefalinger ved nitrogengjødsling og åkersprøyting?

Da dette er to adskilte problemstillinger er det valgt å presentere metoder, resultater og diskusjon hver for seg, mens konklusjonen for begge problemstillingene samles i et avsluttende kapittel.

2. BRUKERUNDERSØKELSEN

Hvilke erfarte fordeler og utfordringer ved anvendelse av Yara N-sensorsystemet er mest fremtredende blant norske og svenske N-sensorbrukere?

A: Under hvilke forhold erfares disse fordelene og utfordringene?

B: Er lønnsomheten ved anvendelse av systemet forskjellig for brukere i Norge i forhold til i Sverige?

2.1 MATERIALE OG METODER

2.1.1 Spørsmålsskjemaet

Brakerundersøkelsens spørsmålsskjema har til hensikt å samle mest mulig informasjon om N-sensorbrukernes investeringsgrunnlag for systemet og erfaringer og opplevelser rundt den generelle anvendelsen. Skjemaet er utformet med tanke på å få frem følgende hovedpunkter blant deltagerne:

- Årsaker og grunnlag for investeringen og hva som er systemets anvendelsesområde.
- Tilfredshet i forhold til investeringen og systemets utlovte fordeler.
- Innvirkningen av skiftende jord- og lysforhold på systemets funksjon.

Utover dette tar spørsmålsskjemaet for seg generelle betraktninger om brukervennlighet, kartbruk og feil og vedlikehold ved systemet.

Før gjennomføringen av intervjurundene ble spørsmålsskjemaet gjennomgått og kontrollert sammen med N-sensorspesialist Knud Nissen fra Lantmännen Lantbruk i Sverige. Etter drøfting av skjemaets utforming med Nissen ble det også testet på brukerundersøkelsens første deltager, med noen påfølgende utbedringer. Det endelige oppsettet ble satt i samråd med Nissen.

Vedlegg 1 viser spørsmålsskjemaet sammen med deltagerens avgitte svar.

2.1.2 Gjennomføring av personlige intervjuer

Fra 22. – 25. juni 2010 ble brukererfaringene innhentet gjennom personlige intervjuer av ti forskjellige N-sensorbrukere, ni i Sverige og en i Norge. Intervjuene ble gjennomført ved personlig oppmøte på deltagerens gårdsbruk. På denne tiden hadde flere av deltagerne nettopp utført 2. delgjødsling og av den grunn stod utstyret ofte påmontert traktoren. Flere av deltagerne viste derfor frem utstyret og forklarte hvordan det ble brukt. Noen demonstrerte også N-sensoren i åkeren for å gi undertegnede et innblikk i den praktiske anvendelsen. På disse demonstrasjonene fortalte deltagerne ofte om erfaringer og opplevelser ved systemet utover det spørsmålsskjemaet omfatter. Disse erfaringene er også tatt med i vurderingen av brukererfaringene, men det går ikke alltid frem av deltagerens svar på intervju spørsmålene i vedlegg 1.

På flere spørsmål ble svarene avgitt på en karakterskala, vanligvis fra 0 til 5, slik at det var mulig å sammenligne deltagerens erfaringer med hverandre og for å kunne vurdere den gjennomsnittlige oppfatningen innen deltagerutvalget. Disse svarene blir vurdert i forhold til relevant litteratur.

2.1.3 Deltagerutvalget

Brugerundersøkelsens deltagerer er lokalisert hovedsakelig på sørsiden av innsjøen ”Vänern” i Sverige, mens kun en av deltagerne er fra Norge (Østfold fylke). Se bilde 1. Brukeren på Jarlsberg hovedgård i Vestfold er ikke en av deltagerne i denne sammenheng, men noen av hans erfaringer er imidlertid sendt undertegnende over mail. Denne brukeren har mye erfaring med systemet som hjelpemiddel ved åkersprøyting. Det refereres derfor til disse erfaringene der slik anvendelse av systemet omtales.



Bilde 1: Blå punkter viser lokasjonen til Yara N-sensorbrukere i området rundt innsjøen Vänern i Sverige. Punktene som er merket med hvitt i midten er brukere som har deltatt i brukerundersøkelsen. Den eneste norske deltageren er merket øverst til venstre i kartet, mens Jarlsberg hovedgård ligger like på andre siden av Oslofjorden (synes ikke på kartet). Illustrasjon Yara (2010b)

Størrelsen på deltagerens gårdsbruk/samdrifter varierte fra 300 hektar til 1850 hektar (medianen = 525 hektar). Planteproduksjonen bestod hovedsakelig av høstvetete (*Triticum aestivum*), bygg (*Hordeum vulgare*) til maltproduksjon og havre (*Avena sativa*) med anslått gjennomsnittlig avlingsnivå rundt 7,3 tonn høstvetete, 5,8 tonn bygg og 6 tonn havre per hektar. I tillegg ble det også dyrket oljevekster, timotei (*Phleum pratense*) og kløver (*Trifolium*) til frø, med mer, (se vedlegg 1). Utenom planteproduksjonen drev to av deltagerne med svineproduksjon og gjødslet dermed en del med husdyrgjødsel, spesielt i grunnjødslingen på våren.

Deltageren med lengst erfaring hadde anvendt systemet i tolv år, mens den gjennomsnittlige erfaringstiden innen deltagerutvalget var syv år. De mest teknikk-interesserte hadde typisk lengst erfaring og utnyttet systemets potensial i størst grad. Blant disse fantes de to eneste deltagerne som i tillegg til gjødsling også benyttet systemet ved åkersprøyting.

Blant deltagerne benyttet ni stykker den tradisjonelle N-sensorutgaven (bilde 2), mens en benyttet ALS-utgaven (bilde 3). ALS-utgaven ble benyttet på Bjertorp forsøksgård i Kvanum.



Bilde 2: Bildet viser traktoren, N-sensoryret og gjødselsprederen til en av brukerundersøkelsens deltagere. N-sensoren (tradisjonell utgave) er montert på hyttetak. I innfelt bilde vises sensorens Windowsbaserte styringsterminal lengst til venstre og gjødselsprederens terminal i midten. (Foto: Hans Håkon Helmen)



Bilde 3: Yara N-sensor ALS opererer uavhengig av dagslys. En av deltagerne benyttet denne utgaven. Illustrasjon Yara (2011a).

2.2 RESULTATER OG DISKUSJON

Dette kapitlet tar utgangspunkt i deltageres avgitte svar på spørsmålene i vedlegg 1, med påfølgende diskusjon i forhold til relevant litteratur. Brukerundersøkelsen konkluderes i kapittel 8; ”Konklusjon”.

2.2.1 Deltageres anvendelse av N-sensorsystemet

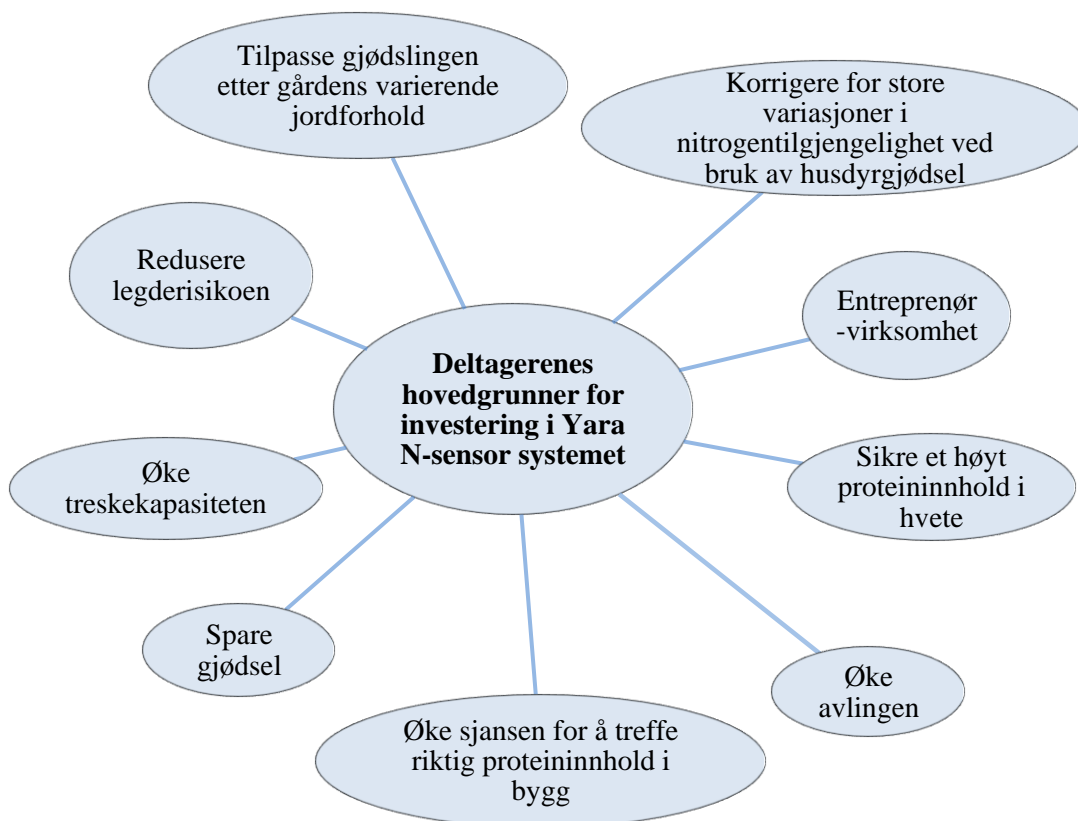
Systemet ble benyttet ved delgjødsling av samtlige deltagere. Denne delgjødslingspraksisen ble ansett som en tidkrevende praksis og det ble derfor prioritert i de mest lønnsomme kulturene, først og fremst i hvetesortene og tildels i bygg og havre. Hvete ble prioritert først på grunn av dens høye avlingspotensiale, pris og nitrogenbehov. (Bioforsk 2011; Jordbruksaktuelt 2011). Antall delgjødslinger i hvete varierte hos deltagerne fra 1 til 3 per sesong i tillegg til grunnjødslingen. Der delgjødsling ble praktisert i andre plantekulturer enn hvete ble det stort sett bare overgjødslet en gang i løpet av sesongen. Vekstsesongens forhenværende værforhold ble oppgitt som den avgjørende faktoren for bestemmelse av antall delgjødslinger og gjødseldose. For eksempel kunne mye regn føre til utvasking og dermed lavere nitrogentilgang for plantene. Følgelig ble delgjødsling nødvendig. Derimot ville plantene ta opp lite nitrogen ved tørkevær og behovet for delgjødsling i slikt tilfelle var derfor begrenset (Bioforsk 2011; Greppa 2010). I forhold til Zadoks skala for kornplantenes utviklingsstadium (se vedlegg 2) ble delgjødslingene oftest kjørt ved begynnende strekningsvekst (BBCH 31) og/eller flaggbladstadiet (BBCH 39). I noen tilfeller ble det også kjørt tidlig delgjødsling ved buskingstadiet (BBCH 21) og sen delgjødsling mellom aksskyting og begynnende blomstring (BBCH 49 – 60)

Der systemet ble benyttet ved åkersprøyting gjaldt dette ved sprøyting mot soppangrep. Utenom de to deltagerne dette gjaldt hadde mange planer om å benytte systemet ved åkersprøyting i fremtiden.

2.2.2 Investeringsgrunnlag og ervervelser ved anvendelse av Yara N-sensor

Nedenfor viser figur 2 deltageres svar på hvorfor de valgte å investere i Yara N-sensorsystemet. Hos de fleste deltagerne bygde investeringen på behovet for å tilpasse gjødslingen til gårdsbrukets varierende jordforhold, med den hensikt å oppnå bedre kvalitet på avlingene. Dette var spesielt gjeldende på gårdsbrukene der det ble gjødslet med husdyrgjødsel i grunnjødslingen. Noen benyttet i tillegg systemet til entreprenørvirksomhet og oppga dette som en av investeringsgrunnene.

Hovedgrunnene for investeringen diskuteres under figuren.



Figur 1: Deltagernes hovedgrunner for at de investerte i N-sensor systemet.

a) Korrigerende for varierende nitrogentilgjengelighet i jorda

For alle deltagerne og spesielt blant de som brukte husdyrgjødsel i grunnjødslingen, utgjorde skiftenes variasjoner i nitrogenstatus hovedgrunnen for investeringen i N-sensorsystemet. Deres tanke var at N-sensoren skulle korrigere for plantestandens varierende nitrogenstatus og følgelig oppnå høyere og jevnere kvalitet på avlingen.

I følge Greppa Næringen (2010) er nitrogentilgjengeligheten og vannhusholdningen i svenske jordsmonn de omstendighetene som i hovedsak avgjør vekstkulturenes avlingsnivå og kvalitet. Dette er trolig også tilfelle i norske jordsmonn. Med fokus på nitrogentilgjengeligheten avhenger denne hovedsakelig av faktorer som jordart, moldinnhold og mineralisering av organisk materiale. Disse faktorene varierer i forskjellig grad innenfor jordskiftene, noe som resulterer i en åker med varierende vekst, avling og kvalitet. Spesielt på jordskifter der det benyttes mye husdyrgjødsel kan nitrogentilgangen variere i stor grad. Dette skyldes vanligvis flere årsaker, men hovedårsakene er ofte utilsiktet overlappning ved spredning og varierende mineralisering av husdyrgjødselens organiske nitrogen. Mineraliseringen varierer på grunn av ulike vann-, luft- og temperaturforhold i jorda, noe som i stor grad avhenger av jordart. I tillegg vil innholdet av plantetilgjengelig ammonium-nitrogen i

husdyrgjødselen også variere avhengig av vanninnblanding, spredemåte og spredforhold. (Greppa 2010). Alle disse forholdene er dominerende årsaker for nitrogenets varierende tilgjengelighet i jorda.

Nissen et al. (2002b) viser at optimalt nitrogenbehov i følge jordprøver og vekstanalyser innen et skifte kan variere fra 70 kg N/ha til 230 kg N/ha. I dette tilfellet fører standardgjødsling på 132 kg/ha til at kun 26 % av skiftet får tilført riktig mengde nitrogen i forhold til behovet.

11 % av skiftet behøver mindre enn 100 kg N/ha og utsettes altså for kraftig overgjødsling, med følgende risiko for legde, for høyt proteininnhold i bygg til malt og fare for nitrogenlekkasje til omgivelsene. 27 % av skiftet behøver mer enn 160 kg N/ha og 132 kg N/ha vil i et slikt tilfelle gi lav utnyttelse av avlingspotensialet og lavt proteininnhold (Nissen et al. 2002b). I et tilsvarende forskningsprosjekt utført på et dansk husdyrbruk påvises også stor variasjon i plantenes nitrogenbehov innen og mellom skiftene, men innenfor hoveddelen av skiftene var variasjonen liten (Andersen 2011).

Dette er eksempler på at det eksisterer et stort behov for variabel gjødsling av nitrogen. Behovet og fordelene med praksisen avhenger imidlertid av flere faktorer og vil i stor grad variere mellom ulike jordskifter. I de fire følgende avsnittene nevnes de viktigste fordelene deltagerne har opplevd ved systemet.

b) Redusert risiko for legde

Begrensningen av legderisikoen oppgis blant deltagerne å være den største fordelen ved anvendelse av systemet. Dette er tilfellet siden risikoreduksjonen bidrar til å opprettholde falltallet og dermed kvaliteten. Dersom falltallet blir for lavt anses dette som en betydelig kvalitetsforringelse med følgende prisreduksjon. Ved anvendelse av systemet i eksempelet ovenfor, der nitrogenbehovet varierer fra 70 kg N/ha til 230 kg N/ha, vil gjødseldoseringen tilpasses i forhold til disse variasjonene. Dermed reduseres legderisikoen. I følge Nissen et al. (2002a) er verdien av dette anslått til å variere mellom 0 og 300 SEK/ha i høsthvete avhengig av flere faktorer. Lambert & Lowenberg-DeBoer (2000) peker på faktorer som jordforhold, avlingsnivå, driftsopplegg og mikroklima som alle påvirker behovet og lønnsomheten ved systemet. Brukerundersøkelsens deltagere så også disse faktorene som avgjørende for investeringen. De la også til at systemet må få lov til å variere gjødseldoseringen uten store begrensninger i minimum- og maksimumverdier, for å oppnå størst mulig effekt av fordelene ved anvendelsen. (Figur 8 i avsnitt 2.2.6 illustrerer maksimums- og minimumsverdiens variasjonsområde)

Når verdien av redusert legderisiko skal vurderes for norske jordbruksforhold, kan det tenkes at det norske terrengets kupering øker denne verdien i forhold til i Sverige. Selv om de norske kornavlingene hovedsaklig dyrkes på flatbygdene i lavlandet er det likevel rimelig å anta at terrenget i disse områdene er anselig mer kupert enn i de svenske korndistriktene. Spesielt i området på sørsiden av innsjøen ”Vänern”, der flesteparten av brukerundersøkelsens deltagere holdt til, var terrenget svært flatt sammenlignet med typiske norske korndistrikter. Når det da er kjent at matjorda fra toppene på et kupert skifte dras ned i søkkene etter mange års kultivering, vil det fruktbare jordsmonnet i søkkene

vanligvis gi størst vekst og dermed også størst risiko for legde. Med utgangspunkt i disse påstandene kan det hevdes at risikoen for legde er større i Norge i forhold til i Sverige, og følgelig vil verdien av redusert legderisiko ved anvendelse av N-sensoren være større i Norge.

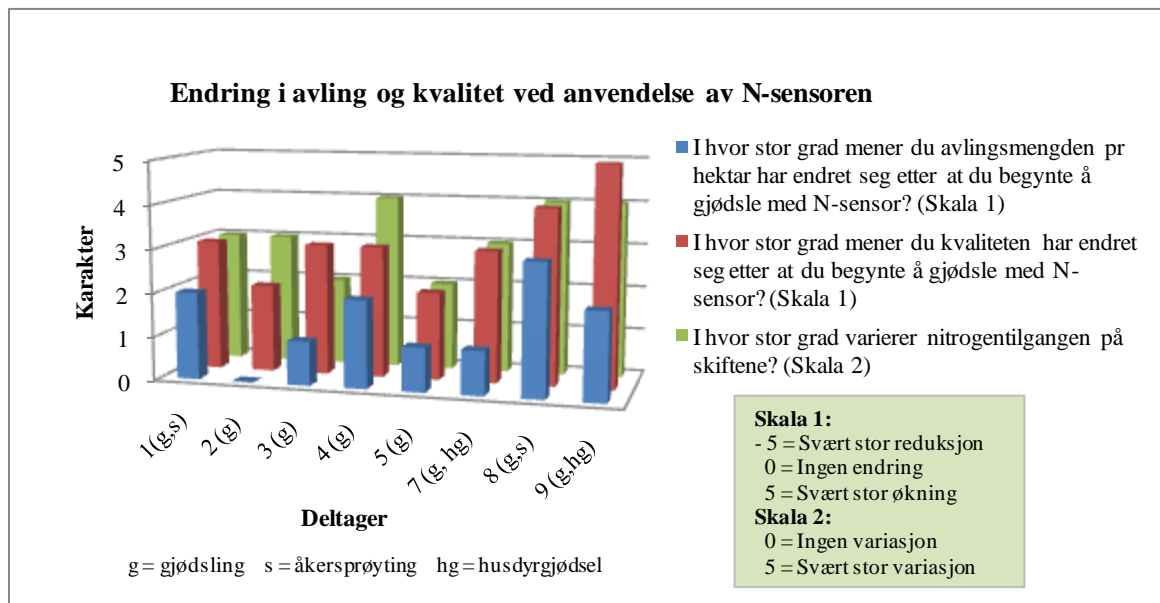
c) Høyere avling og jevnere proteininnhold

Deltagerne oppga at tilstrekkelig nitrogen gjødsling i hvete var spesielt viktig for å sikre et høyt proteininnhold, og dermed unngå nedklassifisering fra mathvete til førhvete. Også i bygg som hovedsakelig benyttes til maltproduksjon i Sverige, er proteininnholdet avgjørende for prisklassifiseringen. Ved proteininnhold utenfor intervallet 9,2 til 12,0 % ble bygg klassifisert som førkorn og prisen per kg ble justert vesentlig ned. I tillegg ble prisen justert med 4 % innen dette intervallet i forhold til avviket fra optimalt proteininnhold (Svenska Foder 2010). Etersom proteininnholdet i følge Gruvaeus (2002) avhenger av nitrogenopptaket i planten, oppgav deltagerne at riktig mengde nitrogen gjødsel til rett tid var den avgjørende faktoren for å oppnå et tilstrekkelig proteininnhold i kornet. N-sensoren ble derfor ansett som et helt nødvendig hjelpemiddel for å oppnå dette og samtidig unngå å øke risikoen for legde og nitrogenlekkasje til omgivelsene.

Hovedparten av deltagerne oppga jevnere kvalitet i form av mindre legde og jevnere proteininnhold som de største gevinstene ved systemet. På spørsmålet om hvor tilfreds deltagerne var med kvalitetsendringen ved N-sensorbasert gjødsling, vurdert på en skala fra 0 = ingen endring til 5 = svært stor kvalitetsøkning, oppga deltagerne gjennomsnittskarakteren 3,1 (se figur 3). Dette betyr at deltagerne er litt over middels fornøyd med kvalitetsøkningen. Vedrørende proteininnholdet er det ikke observert noen særlig økning gjennom forsøk, men variasjonen innen skiftene påvises å være vesentlig mindre ved N-sensorbasert gjødsling i forhold til standardgjødsling (Karlsson & Kjellquist 1999; Nissen et al. 2002a). I et eksempel fra et gårdsbruk i Harplinge i Sverige der N-sensoren ble anvendt ved delgjødsling, leverte bonden 1000 tonn høsthvete med kun 0,2 prosentenheters variasjon i proteininnhold. Bonden anså dette som den største gevinsten med N-sensorsystemet, i tillegg til økt treskekapasitet (Henriksson 2007).

Blant brukerundersøkelsens deltagere var erfaringene angående avlingsøkning ved N-sensorbasert gjødsling ganske varierende, men ingen av deltagerne erfarte at avlingen hadde blitt redusert (se figur 3). Vurdert på skala fra -5 (svært stor reduksjon) til 5 (svært stor økning) gav deltagerutvalget gjennomsnittskarakteren 1,5, tilsvarende en liten avlingsøkning. Deltageren som gav høyest karakter skilte seg ut ved at systemet ble brukt i gressfrøkultur. Vedkommende mente at denne kulturen viste størst avlingsøkning ved N-sensorgjødsling i forhold til standardgjødsling. Samtidig oppga deltageren at nitrogentilgjengeligheten på gårdsbrukets skifter varierte i stor grad, noe som vitner om at avlingsøkningen ved N-sensorbasert gjødsling er størst ved stor variasjon i nitrogentilgjengelighet. En av deltagerne hadde erfart avlingsøkning på 0,3 tonn/ha i høsthvete etter at N-sensoren ble tatt i bruk

på gårdsbruket. Gjennomsnittsavlingen i høstveten hos denne deltageren var 7,5 tonn/ha. Dette tilsvarer da 4 % økt avling og vil i så fall ha en betydelig innvirkning på lønnsomheten ved systemet.



Figur 3: Figuren viser deltagerens oppfatning av hvor stor avlingsendring (blå søyler) og kvalitetsendring (røde søyler) de har erfart etter at de begynte å bruke Yara N-sensor ved delgjødning. Grønne søyler viser variasjonen i nitrogentilgangen hos de respektive deltagerens jordskifter. Det ser ut til å være en sammenheng mellom stor variasjon i nitrogentilgang på jordskiftene og avling- og kvalitetsøkning ved N-sensorbasert gjødning.

Nissen et al. (2002a) viser til resultater fra 122 internasjonale gjødslingsforsøk med N-sensor, der den gjennomsnittlige avlingsøkningen var 2,4 % i forhold til standardgjødning. Mellom forsøkene vekslet imidlertid økningen mellom -1 % og 7 %. Tilsvarende variasjoner i erfart avlingsøkning fantes også mellom deltagerne. Dette kan skyldes ulike jordforhold og driftsopplegg innen deltagerutvalget. I tillegg kan noe av variasjonen skyldes deltagerens varierende oppfatning av hva som er liten og stor avlingsøkning.

Det ser ut til å eksistere en sammenheng mellom deltagerens oppgitte variasjon i nitrogentilgjengelighet på jordskiftene og deres erfarte avlings- og kvalitetsøkning ved bruk av N-sensor. Deltagere som oppgir stor økning i avling og kvalitet har også oppgitt at nitrogentilgangen på deres skifter varierer mye. Dette er i henhold til undersøkelsene utført av Fiez et al. (1994), der det konkluderes med at gevinstene og lønnsomheten ved variabel nitrogengjødsling er størst i tilfeller der variasjonen i jordsmonnets nitrogenstatus er stor.

d) Økt treskekapasitet

Den norske deltageren var en av to deltagere som oppga økt treskekapasitet som en av hovedgrunnene for investeringen i systemet. Dette kan være et tegn på at treskekapasiteten øker mer i Norge enn i Sverige ved anvendelse av systemet. Etersom mye legde gir lav treskekapasitet kan antagelsen underbygges av tidligere nevnte påstand om at risikoen for legde er større i Norge enn i Sverige på

grunn av mer kupert terreng. Hvor stor forskjellen kan være i praksis er vanskelig å anslå, men den vil være avhengig av forskjellen i kupering på skiftene som eventuelt sammenlignes.

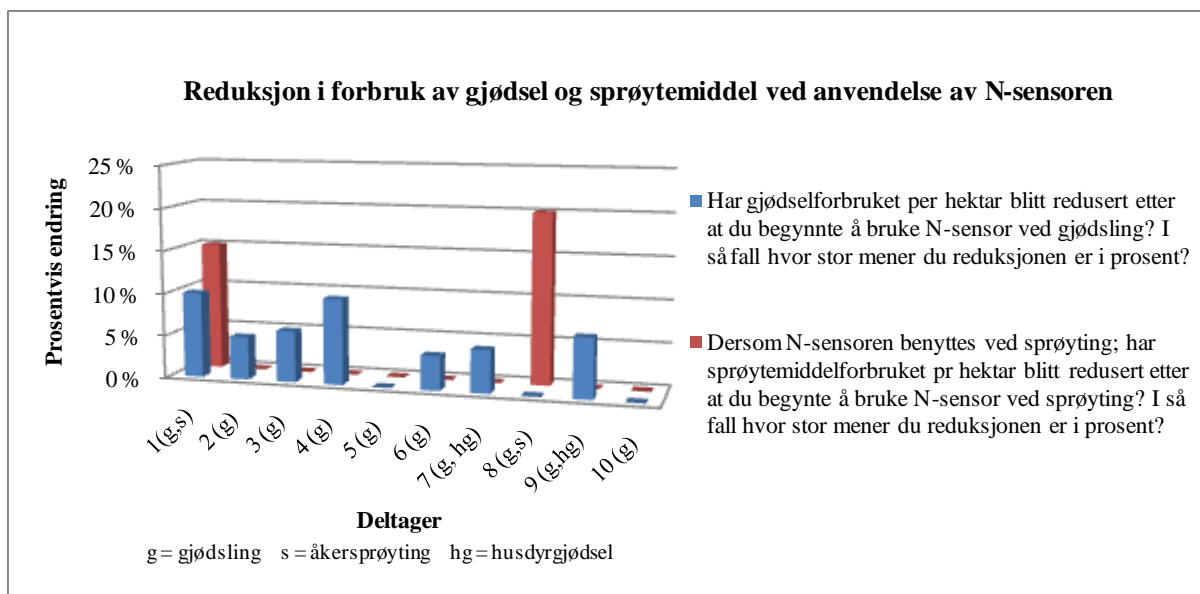
Et treårig feltforsøk i nordøst-Tyskland utført av Feiffer et al. (2007) undersøker forskjellen i treskekapasitet mellom standardgjødslet og N-sensorbasert variabelt gjødslet høsthvete. Det ble utført 3-4 delgjødslinger i begge behandlingene, der hver behandling fikk tilført samme totalmengde nitrogen per hektar ved hver delgjødsling. Resultatene varierte fra 7,5 % til 14,5 % økning i treskekapasitet ved N-sensorgjødsling i forhold til standardgjødsling.

I nevnte forsøk går det frem at vekstsesongens vekstforhold og avlingsnivå har betydning for økningen i treskekapasitet ved N-sensorbasert gjødsling. Størst kapasitesforskjell mellom behandlingene så man i forsøksårene der værforholdene var gunstige og avlingene var høye. Dette var antageligvis tilfellet ettersom høye avlinger førte til legde i de standardgjødslede behandlingene, mens behandlingene med N-sensorbasert gjødsling ikke hadde dette problemet. Året med lav avling på grunn av tørke medførte også mindre legde i de standardgjødslede behandlingene, noe som trolig er årsaken til at den minste kapasitetsforskjellen ble observert dette året.

Feiffer et al. (2007) konkluderte med at redusert legde, jevnere modning og dermed jevnere avling var årsaken til den økte treskekapasiteten.

e) Redusert forbruk av gjødsel og sprøytevæske

Blant brukerundersøkelsens deltagere er oppfatningen angående endring i gjødselforbruk tvetydig. Tre av totalt ti stykker erfarte at gjødselforbruket forble det samme ved N-sensorbasert gjødsling som ved tidligere standardgjødsling. Fem deltagere hadde erfart reduksjon mellom 4 % og 7 %, mens de resterende to deltagerne erfarte 10 % reduksjon i forbruket. Selv om variasjonen er stor tyder resultatene imidlertid på at det eksisterer en viss økning. Se figur 4.



Figur 4: Deltagernes erfarte reduksjon i forbruk av innsatsmidler ved gjødsling og/eller åkersprøyting med Yara N-sensor. Ettersom kun 2 brukere benyttet systemet ved åkersprøyting (bruker 1 og 8) eksisterer kun to svar på dette spørsmålet.

Det er ikke funnet noen tidligere forsøksresultater som tar for seg endringer i gjødsel forbruk ved N-sensorbasert gjødsling, men i følge Yaras markedsføring av systemet skal brukeren oppnå lavere gjødsel forbruk. Det kan uansett sies at ettersom det oppnås høyere avling med bedre kvalitet ved en formodentlig lavere gjødseldose, er det tydelig at den spredde gjødselen utnyttes mer effektivt sett i forhold til standardgjødsling.

De to deltagerne som benyttet N-sensoren ved åkersprøyting erfarte henholdsvis 15 % og 20 % reduksjon i sprøytemiddelforbruket i forhold til uniform dosering, (se figur 4). Dette gjaldt ved sprøyting mot sopp. Disse deltagerne benyttet tidligere produserte biomassekart fra de aktuelle skiftene som styringsfil for åkersprøyten. Biomassekartene anvendes på samme måte ved sprøyting av vekstregulatorer. I Sverige er det imidlertid forbud mot slik behandling i de fleste kornarter, utenom i Rug (*Secale cereale L.*). I Norge finnes ikke dette forbudet og potensialet utnyttes derfor i større grad. På Jarlsberg hovedgård erfarte brukeren at N-sensorbasert åkersprøyting med vekstregulator har redusert forbruket med 30 %, tilsvarende ca 100 NOK/ha. Samtidig ble antall behandlinger redusert fra to til en. Brukeren erfarte også økonomiske fordeler ved at tynn åker ble mindre stresset på grunn av lavere dose (Samnøy 2008).

2.2.3 Økonomi og lønnsomhet

Alle deltagerne opplevde investeringen i systemet som lønnsom. Selv deltageren med minst areal (300 hektar) anslo at investeringen hadde tjent seg inn etter ca. 5 sesongers bruk ved gjødsling.

Sammenligningsgrunnlaget var imidlertid dårlig ettersom innkjøpsprisen varierte mellom deltagerne. Dette var tilfelle ettersom noen hadde leid systemet av Länntmannen de første årene, og løst det ut noen år senere til redusert pris. Hensikten med denne leieperioden var at disse aktuelle deltakerne skulle

fungere som gjødselentreprenører for Länntmannens medlemmer. Dette gav også ekstraintekter for deltagerne, og mange fortsatte derfor som selvstendige gjødselentreprenører etter utløsningen og oppga dette som muligens den største inntektskilden ved systemet.

Dersom det sees bort i fra inntektene ved entreprenørvirksomhet avhenger lønnsomheten først og fremst av arealstørrelsen inntjeningen skal skje på. Av brukerundersøkelsen fremgår ikke noe generelt svar på dette. Derfor er det valgt å sette opp et regnskap som vurderer N-sensorens inntekter og kostnader mot hverandre, og på den måten finne arealgrensen der en eventuell investering i systemet vil være lønnsom. Et tilsvarende regnskap rettet mot potensielle brukere i Sverige er satt opp av Länntmannen, (se vedlegg 3). I Länntmannens regnskap forutsettes det at hele innkjøpskostnaden lånefinansieres med 6 % rente over en avskrivningsperiode på 5 år. Regnskapet i denne oppgaven tar utgangspunkt i samme finansieringsordning med samme lånerente, mens øvrige verdier for inntekter, utgifter og investeringsgrunnlag er vurdert og tilpasset i forhold til norske jordbruksforhold. Verdiene for avlingsøkning og økt treskekapasitet er i henhold til nevnte forsøksresultater i tidligere avsnitt.

Tabell 1: Regnskap som viser N-sensorsystemets lønnsomhet under norske jordbruksforhold ved 5 års avskrivningstid. Tabellen viser gevinsten ved fire forskjellige arealstørrelser.

GRUNNLAG					
Antall daa N-sensoren benyttes på		500	1000	1500	2000 daa
Avlingsnivå hvete		600	600	600	600 kg/daa
Målpris mathvete 2011/2012*		2,64	2,64	2,64	2,64 kr/kg
Leiepris skurtresking**		125	125	125	125 kr/daa
Avskrivningsperiode		5 år	5 år	5 år	5 år år
INNTEKTER					
Redusert legderisiko		20	20	20	20 kr/daa
Avlingsøkning (2,4 %)		38	38	38	38 kr/daa
Økt treskekapasitet (11 %)		14	14	14	14 kr/daa
Redusert forbruk av innsatsmidler, jevnere proteininnhold, etc.		5	5	5	5 kr/daa
Totalt		77	77	77	77 kr/daa
KOSTNADER					
Innkjøp: N-sensor inkludert windowsbasert styringsterminal, GPS og håndholdt N-tester***	kr 150 000	60	30	20	15 kr/daa
Serviceavtale for 5 år***	kr 29 000	12	6	4	3 kr/daa
Rentekostnad per år (6 % pa.) ****	6 %	9	5	3	2 kr/daa
Totalt		81	40	27	20 kr/daa
GEVINST (kr/daa)		-4	36	50	57 kr/daa
GEVINST (kr/totalareal N-sensoren brukes på)		-1 917	36 466	74 849	113 232 kr/tot. areal

* Målprisen settes en gang i året under jordbruksforhandlingene (Statens landbruksforvaltning 2011)

** Leiepris for tresking med sjåfør ligger i følge tidsskriftet Norsk Landbruk mellom 100 og 150 kr/daa (Berger 2010)

*** Kostnadene ved N-sensorsystemet er hentet fra Yara (Yara 2010d).

**** Formel for gjennomsnittlig rentekostnad per år (Sander 2004): $\text{Innkjøpskostnad} / 2 * \text{lånerente}$

I regnskapet er hvete brukt som eksempel fordi inntektsverdiene vedrørende avlingsøkning og økt treskekapasitet baserer seg på forsøk utført i hvetekulturer. I tillegg har deltagerne oppgitt at hvete er den veksten som prioriteres først ved delgjødsling, men dette har antakeligvis mindre betydning under norske forhold ettersom bøndene i Norge skal rekke over et mindre areal og opplever derfor et mindre tidspress. Selv om hvete er brukt som eksempel skal det også nevnes at behovet for N-sensorbasert

gjødsling kan være større og like lønnsomt i for eksempel bygg som er mer legdeutsatt enn de mer stråsterke hvetesortene, selv om kiloprisen og avlingsnivået er lavere. I så fall vil verdien av redusert legderisiko og økt treskekapasitet bli høyere, mens verdien av avlingsøkning avtar noe på grunn av lavere avling og kilopris.

Verdien av redusert legderisiko ble verdsatt til 20 kr/daa i forhold til Läntmannens 14,6 kr/daa. Økningen ble vurdert dit hen på grunnlag av tidligere påstand om at legdeproblemet er større i Norge i forhold til i Sverige ettersom norske landbruksarealer er mer kupert. Angående økning i treskekapasitet ble det valgt å bruke samme tall om vises av forsøksresultatene fra nordøst-Tyskland, ettersom kuperingen i disse forsøkene var ukjent og dermed ikke mulig å sammenligne opp mot norske forhold.

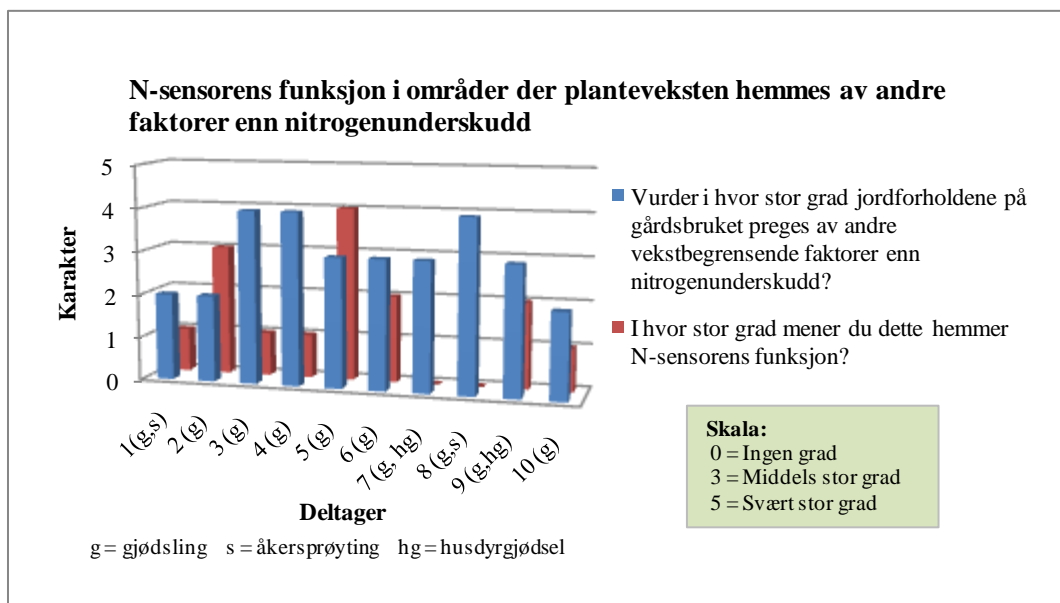
Anslått verdi av ”reduisert forbruk av innsatsmidler, jevnere proteininnhold, jevnere modning og lavere tørkekostnader, etc.” ble vurdert til 5 kr/daa. Verdien av disse faktorene er trolig noe høyere og avhengig av om systemet også benyttes ved åkersprøyting. Dersom det benyttes ved sprøyting vil i tilfelle forbruksreduksjonen i sprøytemidler antakeligvis øke verdien betraktelig ettersom deltagerne oppga mellom 15 til 20 % reduksjon i forbruket ved sprøyting mot sopp. I tillegg må erfaringene fra Jarlsberg medregnes, der det ble oppgitt 30 % reduksjon tilsvarende 10 kr/daa ved sprøyting med vekstregulatorer. Ettersom sistnevnte praksis er mer utbredt i Norge i forhold til i Sverige er det realistisk at verdien i denne posten er noe større i Norge i forhold til i Sverige. Dersom regnskapet skal inkludere verdien av N-sensorbasert sprøyting av vekstregulatorer, som også har til hensikt å redusere legderisikoen, må imidlertid verdien av redusert legde ved N-sensorbasert gjødsling nedjusteres.

Den mest betydningsfulle inntekstposten i dette regnskapet er verdien av avlingsøkningen på 2,4 %. Verdien tilsvarende 38 kr/daa ved avlingsnivå på 600 kg hvete/daa, til prisen 2,64 kr/kg. Inntekstposten er ca dobbelt så stor som de andre inntekstpostene, men den vil synke betraktelig dersom kornprisen og avlingsnivået settes lavere. I Norge er kornprisen relativt stabil og ligger vanligvis vesentlig høyere enn i Sverige, noe som gjør at investeringen i systemet kan tjenes inn igjen på et mindre arealgrunnlag. I forhold til grunnlaget og forutsetningene i regnskapet kan hele investeringen tjenes inn etter 5 sesongers bruk ved delgjødsling av ca 525 daa hvete, der kornprisen og avlingsnivået er de mest avgjørende faktorene for lønnsomheten.

Det må også tas med i betraktningene at økte gjødselpriser gjør behovet for systemet større, idet anvendelsen fører til en mer effektiv utnyttelse av gjødselen. Dersom gjødselprisen fortsetter å øke i fremtiden vil derfor presisjonsgjødsling med N-sensoren som det mest aktuelle hjelpemiddelet, kunne bli en nødvendig strategi for å oppnå god økonomi i korndyrkingen.

2.2.4 Jordforholdenes innvirkning på N-sensorens funksjonalitet

På spørsmål om i hvor stor grad deltagerens respektive jordforhold var preget av andre vekstbegrensende faktorer enn nitrogenunderskudd, oppgir deltagerutvalget gjennomsnittskarakteren 3, tilsvarende at jordforholdene preges i middels stor grad (se figur 5). Disse vekstbegrensende faktorene var hovedsakelig vannmangel og vannmetning, der disse varierte innad i skiftene avhengig av jordartsvariasjonen. Dette resulterte i hemmet vekst samt ujevn etablering, utvikling og dermed ujevn modning i plantestanden. På oppfølgingsspørsmålet om hvor mye disse vekstbegrensende faktorene hemmet N-sensorens funksjon gav deltagerne gjennomsnittskarakteren 1,5, tilsvarende lite hemming av funksjonen (se figur 5).



Figur 5: Blå søyler viser deltagerens oppfatning av i hvor stor grad jordforholdene på deres skifter preges av andre vekstbegrensende faktorer enn nitrogenunderskudd. Røde søyler viser i hvor stor grad deltagerne mener disse vekstbegrensende faktorene hemmer N-sensorens funksjon.

Blant deltagerne som oppgav at N-sensoren ble hemmet på grunn av tørkeforhold, erfarte de at årsaken var generelt mindre fargevariasjon og mer blekfarging i åkeren. Dette gjorde at N-sensorens potensiale ikke ble utnyttet i full grad. Dersom gulningen var flekkvis, for eksempel i tørkeutsatte områder på høydedrag og lignende, ble dette oppfattet som nitrogenunderskudd av sensoren og resulterte i feilgjødsling. Deltager 7 og 8 (se figur 5) mente derimot at ingen vekstbegrensende faktorer hemmet N-sensorens funksjon dersom brukeren hadde kjennskap til disse forholdene. Med denne kjennskapen kunne brukeren overstyre systemet ved å slå over til uniform dosering og i stedet justere dosen manuelt med enkle tastetrykk.

I henhold til sistnevnte brukererfaringer tilråder blant andre Greppa Näringen (2010) å tilpasse nitrogendosen i forhold til avlingspotensialet. I nevnte tilfeller betyr dette at dosen skal reduseres der veksten hemmes av vannmangel eller vannmetning, og økes der nitrogenunderskudd er den

begrensende årsaken. I så måte er N-sensorbrukerens kjennskap til jordsmonnets variasjon innad i skiftet helt nødvendig for å unngå feilgjødning, og for at anvendelsen av systemet skal gi størst mulig positiv effekt. Spesielt med tanke på gjødselbruk og nitrogenlekkasje til omgivelsene. I hvor stor grad brukeren innehar denne kjennskapen kan derimot variere. Blant norske bønder som driver i et slikt størrelsesomfang at N-sensoren er aktuell, stilles det krav til mye areal. Det er derfor ikke uvanlig at den aktuelle driften baseres på innleide arealer, og kjennskapen til variasjonene i jordsmonnet på skiftene kan derfor være dårlig. I slikt tilfelle vil det være utfordrende for N-sensorbrukeren å overstyre N-sensoren på en fornuftig måte. Dette kan føre til feilgjødning dersom vekstbegrensende forhold som vannmangel og/eller vannmetning er tilstedeværende.

Deltagerne erfarte også at tidligere tilført gjødsel ikke var blitt tilgjengelig for plantene på grunn av mangel på nedbør etter forrige gjødning. I slike tilfeller var delgjødning ofte unødvendig ettersom tidligere tilført nitrogen var utilgjengelig og ble spart til senere vekststadier. Slik sett opplevde deltagerne at nedbørsmengden i løpet av vekstsesongen var avgjørende for behovet for delgjødning og dermed også N-sensoren. Investeringen vil i så måte være mer lønnsom i nedbørsrike områder enn i tørkeutsatte områder, også med tanke på legdeproblemet.

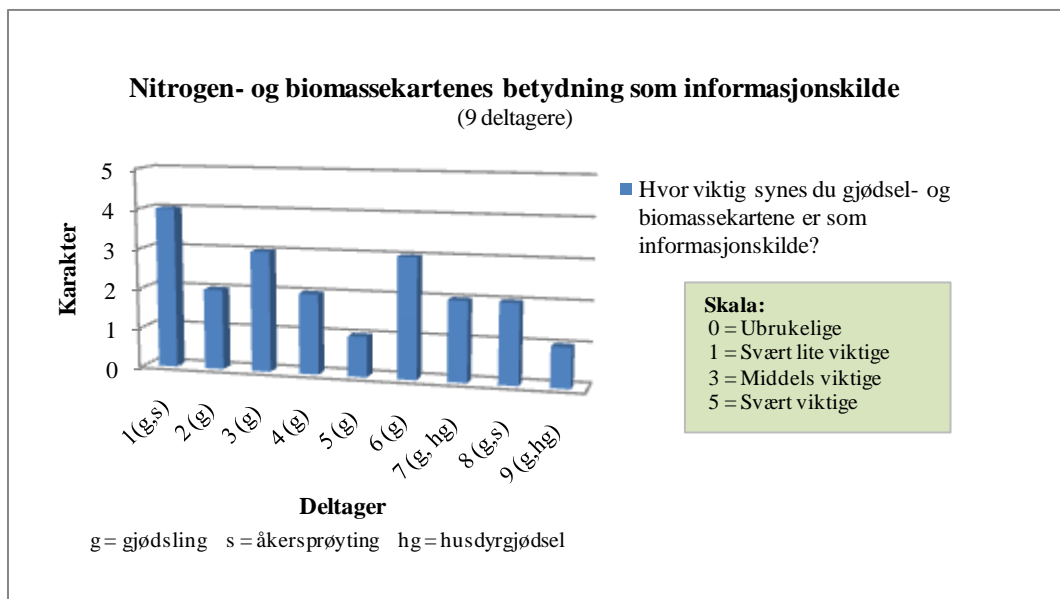
Mangel på svovel ble også nevnt som en vekstbegrensende faktor som kunne oppfattes som nitrogenunderskudd av N-sensoren. På skifter der dette var tilfellet benyttet deltageren nitrogengjødning med ekstra svovelinnhold for å imøtekomme svovelbehovet. På denne måten hemmes ikke N-sensorens funksjon av svovelmangelsymptomene, tvert imot. Dette kan også ha god effekt på kornets proteininnhold ettersom forsøk utført i vårhvete har vist at balansert gjødning med nitrogen og svovel gir bedre proteinkvalitet, spesielt ved kraftig nitrogengjødning (Hoel & Uhlen 2005).

I tilfeller der fosfor er en stor vekstbegrensende faktor kan dette også registreres som nitrogenunderskudd av N-sensoren. Brukeren kan imidlertid gjødsle variabelt med fosfor ved å bruke GPS-baserte jordprøveresultater som styringsfil (Nissen 2006). De mest teknikkinteresserte deltagerne brukte allerede N-sensoren til fosforgjødning på denne måten. Spesielt ved stor variasjon i fosforinnhold i jorda vil det være lønnsomt både for miljøet og økonomien å benytte denne muligheten.

2.2.5 Deltagernes anvendelse av gjødsel- og biomassekart

N-sensorproduserte kart som viser variasjonene i biomasse (biomassekart, vedlegg 5a) og anbefalt nitrogenapplisering (nitrogenkart, vedlegg 5b) ansees for å ha dokumentasjons- og informasjonsverdi. For eksempel vil et biomassekart gjøre brukeren bevisst på vekstforholdenes variasjoner innen et skifte. Kartet kan også være grunnlag for stedsbestemmelse av jordprøveuttak innen dette skiftet (Söderström 2002). I en inntekts- og kostnads kalkyle utført av Nissen et al. (2002a) vurderes kartenes informasjons- og dokumentasjonsverdi til 30 SEK/ha.

Blant brukerundersøkelsens deltagere er den gjennomsnittlige oppfatningen at kartenes betydning som informasjonskilde er lite viktig (se figur 6). Oppfatningen er imidlertid varierende. Deltagerne som gir de høyeste karakterene (deltager 1, 3 og 6) benytter kartene til å forutsi forventet avling og identifisere problemområder innen skiftene. I tillegg brukes de som generell dokumentasjon. To av deltagerne har også nytte av biomassekartene som styringsfiler for åkersprøyten ved soppssprøyting. En tredjedel av deltagerne bruker ikke kartinformasjonen i noen sammenheng. Ingen deltagere oppgir at kartene benyttes i gjødselplanleggingen.



Figur 6: Figuren viser deltagerens oppfatning av hvor viktig gjødsel- og biomassekartene er som informasjonskilde.

Verdien av å benytte biomassekartene som styringsfiler ved åkersprøyting er tidligere nevnt i avsnitt 2.2.3. Brukernes verdi av kartene avhenger altså av hvordan de benyttes. For en bruker som benytter biomassekartene som styringsfiler ved åkersprøyting vil verdien være stor i forhold til brukeren som kun benytter de til informasjon og dokumentasjon.

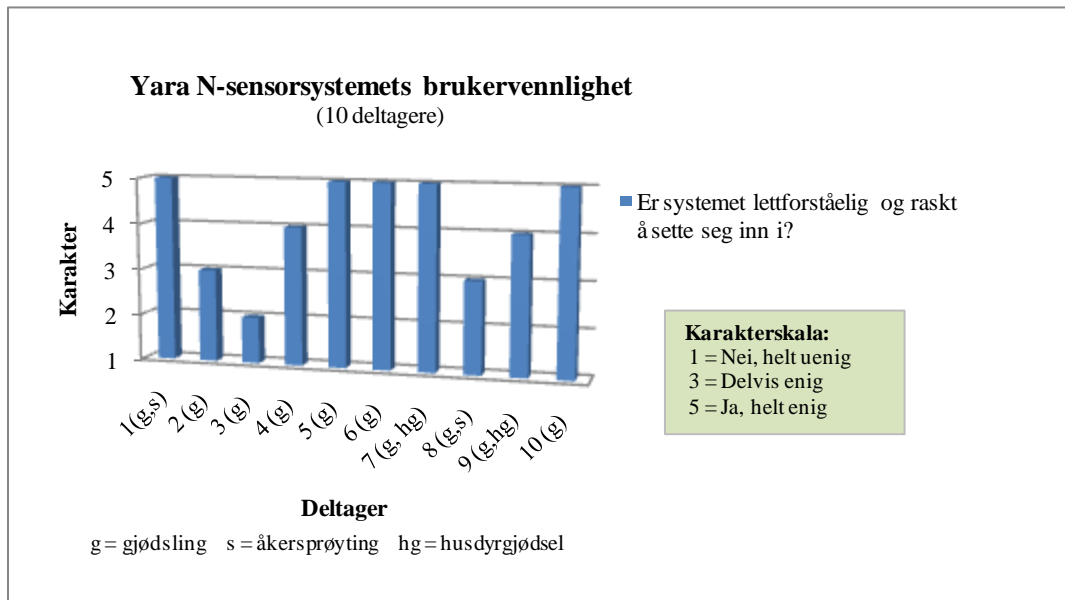
2.2.6 Brukervennlighet, kalibrering og brukerstøtte

a) Brukervennlighet

Yara markedsfører N-sensoren som et meget brukervennlig og letthåndterlig system. Brukeren styrer og overvåker systemet fra brukerterminalen montert inne i førerkabinen. Denne terminalen eksisterer i to utgaver; WTK-terminalen (WTK-Elektronik GmbH) og den Windowsbaserte terminalen. WTK-terminalen var den opprinnelige som fulgte systemet i starten, men som følge av systemets videreutvikling er denne blitt erstattet med en Windowsbasert terminal. I Sverige viser tall fra 2009 at utbredelsen av disse to terminalene var omtrent lik blant brukerne (Nissen 2009). Den Windowsbaserte terminalen ga et bedre brukergrensesnitt og åpnet for nye muligheter ved systemet, som blant annet styring av åkersprøyte ved vekstregulering i korn og risdreping i potet (Nissen 2007).

Dersom brukeren anvendte WTK-terminalen måtte systemet spesialtilpasses for å kunne benytte disse mulighetene.

På spørsmål om systemet er lettforståelig og raskt å sette seg inn i, vurdert på skala fra 1 (helt uenig) til 5 (helt enig), ga deltagerne gjennomsnittskarakteren 4,1, (se figur 7). Dette betyr at brukervennligheten ble oppfattet som meget god blant brukerundersøkelsens deltagere.



Figur 7: Diagrammet viser deltagerens oppfattelse av Yara N-sensorsystemets brukervennlighet.

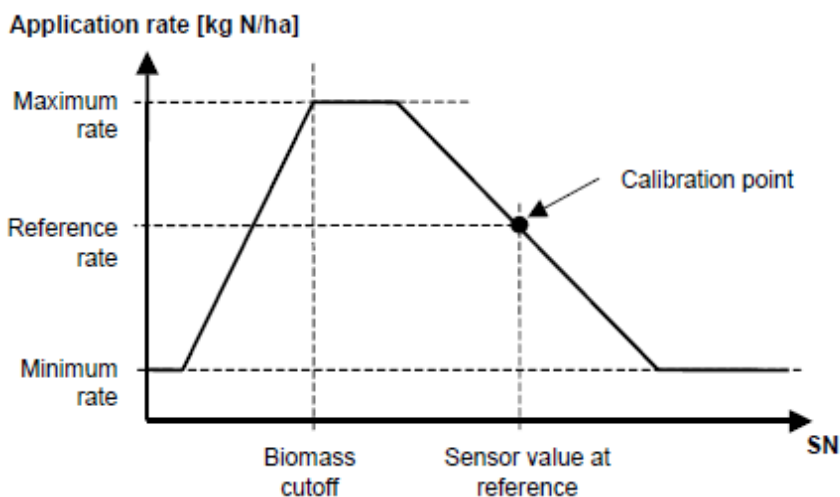
Blant deltagerne som gav karakter 3 eller lavere oppga de følgende grunner for karaktergivningen:

1. Systemet er vanskelig å forstå og dette gir høy risiko for bruksfeil, (en deltager).
2. Vanskelig å finne riktig gjødslingsnivå ved kalibrering. I tillegg finnes ingen mulighet for å stille inn hvilke kornsort som skal gjødsles.
3. Dersom systemet skal utnyttes på en god måte kreves det at brukeren forstår funksjonen av systemet godt. Av denne grunn må brukeren være en god agronom og teknisk anlagt.

Deltageren som syntes systemet var vanskelig å forstå benyttet WTK-terminalen der brukergrensesnittet er dårligere enn i Windowsterminalen. Fordelingen av terminaltypene var ca 50/50 mellom deltagerne. Oppfattelsen av brukervennlighet avhenger også i en viss grad av deltagerens tidligere erfaringer med databehandling. Denne type erfaring er imidlertid ukjent i dette tilfellet. Blant de som syntes det var vanskelig å finne riktig gjødslingsnivå ved kalibrering av systemet oppgir noen at dette ble lettere etter en programvareoppdatering som gav flere måter å kalibrere systemet på. Dette var derimot ikke en mulighet med WTK-terminalen. Sett bort fra problemet med å finne riktig gjødslingsnivå var deltagerutvalget stort sett enige i at selve kalibreringsgjennomføringen var enkel og rask å utføre, uavhengig av type terminal.

b) Kalibrering

Det finnes tre hovedmetoder å kalibrere N-sensorsystemet på; ”N-gjødsling”, ”Målstyrt N-gjødsling” og ”Absolutt N-gjødsling”, i tillegg til egne kalibreringsprosedyrer ved N-sensorbasert åkersprøyting. I de tre hovedmetodene må brukeren på forhånd stille inn flere parameterverdier i systemet gjennom en såkalt ”Agronomisk kalibrering”. Parameterne som skal legges inn avhenger av hvilke kalibreringsmetode brukeren velger. Parameterne ”Minimum rate”, ”Maximum rate” og ”Biomass cut-off” må stilles inn uansett kalibreringsmetode (se figur 8).



Figur 8: Figuren viser N-sensorens variasjonsområde i forhold til ”Minimum rate” og ”Maximum rate”. Grenseverdien ”Biomass cut-off” angir refleksjonsverdien der biomassen anses som for liten til at økt gjødseldose skal gi et merutbytte. X-aksen viser sensorens refleksjonsverdi og Y-aksen viser gjødseldose. Figuren er hentet fra N-sensorens brukermanual (Yara 2010c)

”Minimum- og maximum rate” angir gjødseldoseringens variasjonsområde, mens ”Biomass cut-off” angir biomassens grenseverdi der gjødseldoseringen skal skifte fra økende til avtagende når biomasseverdien synker. Grenseverdien settes der biomassen anses som for liten til at økt gjødsling skal gi et merutbytte. Dette skal hindre at N-sensoren tilfører høy gjødseldose i områder der planteveksten hemmes av andre faktorer enn nitrogenunderskudd. (Yara 2010c). De to mest anvendte kalibreringsmetodene, ”N-gjødsling” og ”Målstyrt N-gjødsling”, omtales nedenfor.

”N-gjødsling” er den vanligste kalibreringsmetoden, og eneste metode dersom WTK-terminalen benyttes. Metoden utføres ved å kjøre N-sensoren sakte gjennom en liten del av åkeren der plantestanden ser ut til å være sunn og relativt homogen. Brukermanualen anbefaler ca 30 m. I dette referanseområdet registrerer N-sensoren plantestandens gjennomsnittlige lysreflektans og lagrer denne verdien opp mot korresponderende gjødseldose (”Reference rate”) for referanseområdet, (se figur 8). Denne dosen bestemmes av brukeren. Brukeren kan benytte flere hjelpemidler for å bestemme nødvendig dose for referansefeltet. I deltagerutvalget benyttet syv av ti et håndholdt kalksalpeter-meter (N-tester) som følger med N-sensorsystemet, (innfelt i bilde 4). Denne beregner nitrogenbehovet ved spektrofotometrisk scanning av klorofyllinnholdet i bladet (Yara 2011a). Blant de andre deltagerne anslo en av dem nitrogenbehovet ved å anlegge et felt på åkeren der planteveksten ble observert ved

null-nitrogengjødsling, (bilde 4). Ut fra dette kunne man se jordens nitrogenbidrag i 0-feltet i forhold til omkringliggende åker, og på grunnlag av dette vurdere riktig gjødselmengde.

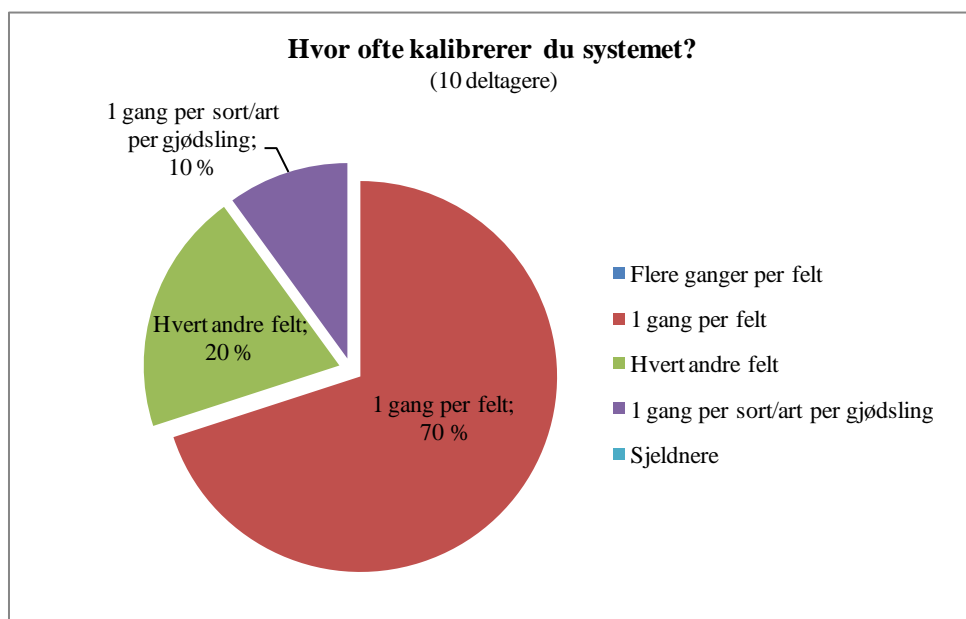


Bilde 4: Deltagerens 0-felt (ikke tilført nitrogen) i høstvetesåker, (foto: Hans Håkon Helmen). Innfeltet viser N-testeren i praksis (Yara 2011a).

”Målstyrt N-gjødsling” (automatisk kalibrering) fungerer på samme måte som ”N-gjødsling”. Eneste forskjellen er at brukeren ikke trenger å kalibrere systemet på et eget referanseområde før gjødsling. Før kjøring stiller brukeren inn gjødseldosen i systemet, vurdert på samme måte som ved tradisjonell gjødsling, og systemet kalibrerer seg selv mens det opererer ute i åkeren. Dette medfører noe ukorrekt dosering ved de første kjørte meterne, men presisjonen øker etter hvert som doseringen kan baseres på et større registreringsgrunnlag. N-sensoren gjør ca. en registrering per sekund. Denne kalibreringsmetoden er mindre tidkrevende og gjør at brukeren slipper å velge ut et felt som skal representere den innlagte gjødseldoseringen. Det er derfor heller ikke nødvendig å måle plantenes nitrogentilstand med for eksempel N-tester.

Blant deltagerne brukte fem av ti kun ”N-gjødsling” som kalibreringsmetode, hovedsakelig fordi dette var eneste mulighet ettersom de benyttet WTK-terminalen. Blant de som benyttet Windows-terminal var det vanlig å velge metode etter behov. ”N-gjødsling” og ”Målstyrt N-gjødsling” ble mest brukt, der ”N-gjødsling” ble valgt på skifter med store variasjoner i nitrogentilgjengelighet. Dermed unngikk man å kalibrere i områdene der planteveksten var hemmet på grunn av dette. Det er tidligere nevnt at det var vanskelig å velge riktig gjødselnivå ved bruk av ”N-gjødsling” som kalibreringsmetode. Dette ble lettere med ”Målstyrt N-gjødsling” der brukeren bare trengte å stille inn en standarddose for hele feltet, i stedet for å sette dosen kun i forhold til et lite referansefelt på åkeren.

Brukermanualen anbefaler at systemet kalibreres ved hvert skifte (Yara 2004). Syv av ti deltagere gjorde dette, se figur 9. De resterende utførte kalibrering enten ved hvert andre felt eller en gang per sort per gjødsling.



Figur 9: Diagrammet viser hvor ofte deltagerne kalibrerer Yara N-sensorsystemet mot plantestandens lysrefleksjon.

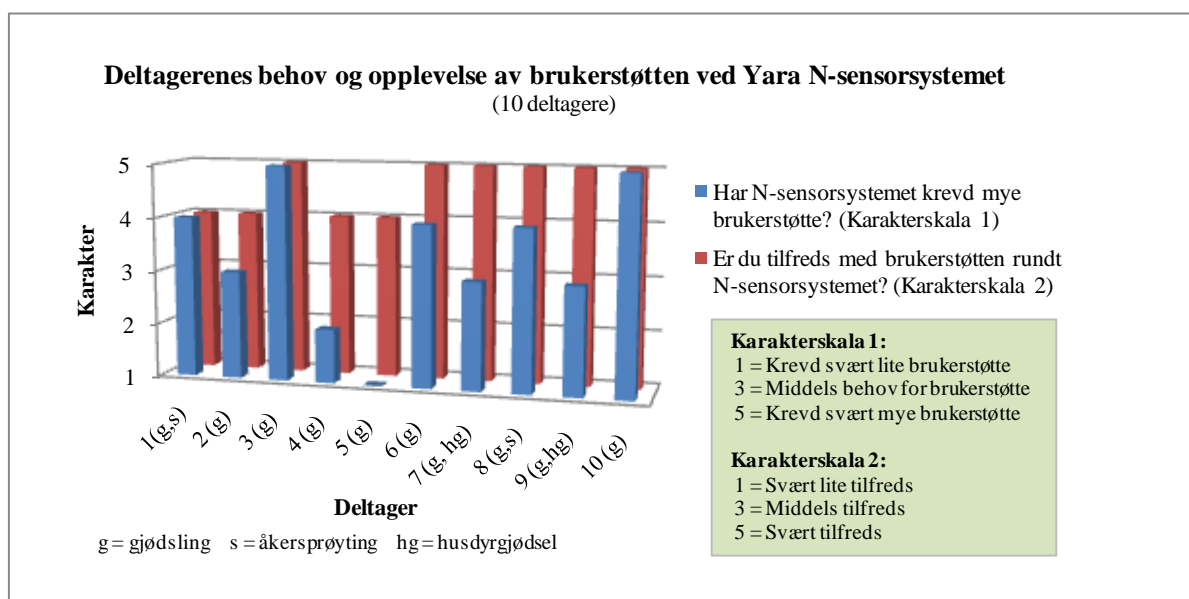
Deltagerne kalibrerte svært sjelden systemet flere ganger innen samme felt. Dette ble kun gjort dersom lysforholdene endret seg betraktelig under gjødslingen, enten i form av skiftende værforhold eller ved stor endring i solens innstrålingsvinkel. Sistnevnte kan være aktuelt ved gjødsling av store og tidkrevende felt.

c) Feil, vedlikehold og brukerstøtte

I gjennomsnitt hadde brukerundersøkelsens deltagere 1,2 driftsstans per sesong på grunn av feil av forskjellige årsaker ved N-sensorsystemet. De oppgir at samme type feil som kan forekomme på en vanlig datamaskin også forekommer i dette systemets programvare. At systemet til tider ”henger seg opp” var en vanlig erfaring og løsningen var som oftest omstart. Også dette problemet ble mindre etter hvert som programvaren ble oppdatert. Maskinvaren (blå boks, spektrometre, kabler, etc.) var erfart som stabil og driftsikker, der eventuelle feil som regel oppstod på grunn av ledningsvakkelse i koblingene mellom sensorterminalen og spredersprøyte eller GPS. Dette ble løst med kontaktspray. Noen få direkte maskinvarefeil, oftest fabrikkfeil, var imidlertid erfart og løsningen var i disse tilfellene vanligvis ny N-sensor eller å erstatte de problemgivende komponentene.

Vedrørende systemets funksjon syntes noen av deltagerne at systemet brukte for lang tid på å slå over til uniform dosering dersom biomasseregistreringen gikk under grensenivået. Dette krevde ofte overstyring fra brukeren.

Deltagernes vedlikehold av systemet dreide seg hovedsakelig om å oppdatere programvaren, pusse lenser og spraye kontaktkoblinger. Tilgangen til programvareoppdateringer inngikk i en lisens- og supportavtale mellom bruker og forhandler, der prisen var avhengig av hvor mange år brukeren hadde anvendt systemet. I både Sverige og Norge ble dette tilbydd gratis første året og brukeren fikk gratis hjelp på stedet i innkjøringsfasen. Andre året kostet avtalen 10 000 NOK og deretter ble beløpet redusert ned til 5000 NOK i løpet av de tre påfølgende årene. Alternativt kunne det betales et engangsbetrag på 29 000 NOK. (Yara 2010d). Figuren nedenfor viser deltagerens behov og tilfredshet med brukerstøtten de mottok gjennom denne avtalen.



Figur 10: Diagrammet viser deltagerens behov for brukerstøtte ved anvendelse av N-sensoren (blå søyler). Røde søyler viser deltagerens tilfredshet med brukerstøtten.

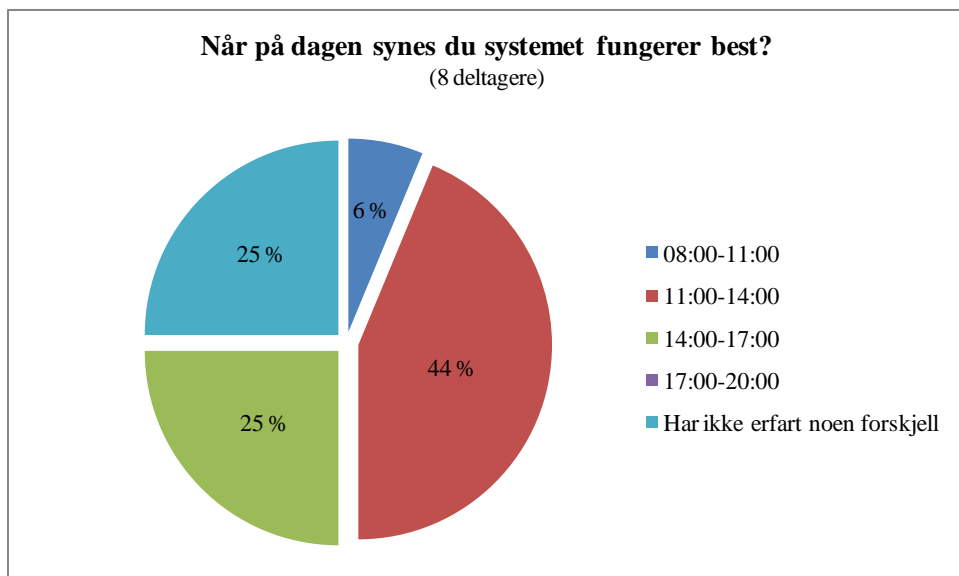
I følge deltagerens karaktergivning (figur 10) var behovet for brukerstøtte litt over middels stort, tilsvarende gjennomsnittskarakteren 3,4 på karacterskala 1. Behovet var størst i innkjøringsfasen da brukerne var lite kjent med systemet. Tilfredsheten med brukerstøtten gir gjennomsnittskarakteren 4,6 på karacterskala 2. Dette betyr at deltagerne er tilnærmet svært tilfreds med brukerstøtten som tilbys gjennom lisens- og supportavtalen. Deltageren som hadde minst behov for brukerstøtte syntes imidlertid avtalen var litt for dyr i forhold til det brukeren fikk tilbake. Antall tilgjengelige oppdateringer varierte. Deltagerne anslo én til to oppdateringer per år.

2.2.7 Funksjonalitet under varierende lysforhold

a) Skiftende solinnstrålingsvinkel

N-sensorens målegeometri er konstruert for å begrense innvirkningen av en skiftende solinnstrålingsvinkel, men det er allikevel forventet at dette har en viss påvirkning på N-sensorens evne til å anbefale like doseringer ved ulike tidspunkt på dagen. Seks av åtte deltagere (75 %) erfarte at solens varierende innstrålingsvinkel hadde innvirkning på sensorens funksjon, forutsatt at den ble

anvendt under lysforhold som ble signalisert som tilfredsstillende av N-sensorterminalen. Resterende deltagere hadde ikke erfart noen innvirkning på systemet. På oppfølgingsspørsmål om når på dagen de erfarte at systemet fungerte best varierte erfaringene blant deltagerne, (figur 11). Noen erfarte best funksjon på formiddagen (08:00 – 11:00) og ettermiddagen (14:00 – 17:00), mens størsteparten (44 %) mente at systemet fungerte best midt på dagen (11:00 til 14:00). Av de 8 spurte erfarte 25 % ingen forskjell. Deltageren med ALS-utgaven er ikke medregnet ettersom systemet med egen lyskilde ikke påvirkes av ekstern lysinnstråling.



Figur 11: Diagrammet viser deltagerens oppfatning av når på dagen N-sensoren fungerer best.

Tidspunktet der solinnstrålingsvinkelen tangerer 25° avhenger av lokasjon og dato. På Jarlsberg i Tønsberg kommune var solinnstrålingsvinkelen 25° klokken 18:40 den 30. juni 2010, (se vedlegg 9). Selv om deltagerutvalgets lokasjon i Sverige ligger noe lenger sør enn Jarlsberg anslås tangeringstidspunktet å være omtrent det samme.

Deltagerens varierende erfaring angående i hvilken tidsperiode N-sensoren fungerte best, tyder på at tidspunktet ikke var av så stor betydning så lenge solinnstrålingsvinkelen ikke ble for lav. Dette stemmer tilsynelatende godt overens med resultatene fra forsøket til Mistele & Schmidhalter (2008), der det antydes at N-sensorens funksjon i liten grad ble preget av solens skiftende innstrålingsvinkel dersom vinkelen ikke ble lavere enn 30° . Selv om 75 % av brukerundersøkelsens deltagere erfarte at solinnstrålingsvinkelen hadde innvirkning på systemets gjødselanbefalinger, hentyder dette til at innvirkningen først ble merket like før systemet signaliserte utilfredsstillende lysinnstråling på grunn av lav solinnstrålingsvinkel. I følge deltagererfaringene har programvareoppdateringer også i dette tilfellet bidratt til at systemets funksjon ved skiftende lysinnstrålingsvinkel har blitt noe bedre, men påvirkningen oppgis fortsatt som merkbar ved lav innstrålingsvinkel. Noen av deltagerne fortsatte å kjøre selv om de kunne merke at sensorens registreringer av plantestandens lysrefleksjon hadde endret

seg etter kalibreringen. Andre kalibrerte systemet på nytt og fortsatte til skiftet var ferdig gjødslet, eller ventet til neste dag dersom solinnstrålingsvinkelen ble vurdert som for lav.

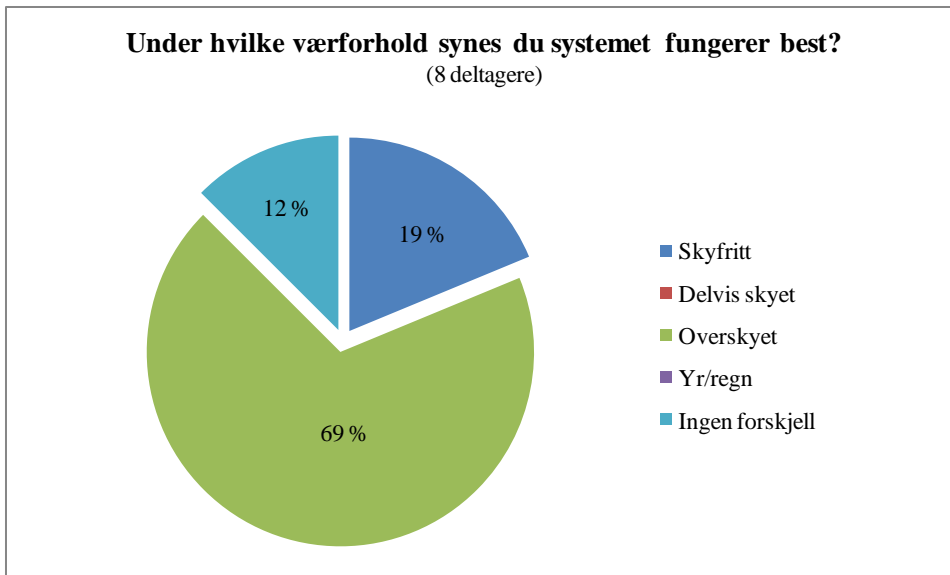
b) Skiftende skyforhold

Variierende vær- og skyforhold gir også store variasjoner i solinnstråling, med følgende varierende lysrefleksjon fra plantestanden. Dette illustreres i bilde 5. Egne målinger presentert i vedlegg 4 viser at solinnstrålingen varierte mellom 161 W/m² og 845 W/m² på grunn av driftende skyer. Denne variasjonen skal imidlertid ikke ha stor innvirkning på N-sensorens refleksjonsregistreringer ettersom ett spektrometer hele tiden måler innstrålingsintensiteten og korrigerer registrert planterefleksjon i forhold til disse verdiene (Yara 2004).



Bilde 5: Bildet viser varierende lysrefleksjon fra plantestanden i en av deltagerens kornåkre. Variasjonen skyldes varierende skydekke. (Foto Hans Håkon Helmen)

På spørsmål om under hvilke værforhold N-sensorsystemet fungerte best erfarte 69 % av deltagerutvalget at overskyet vær gav de mest stabile målingene, mens 19 % syntes skyfritt vær gav best funksjon. En deltager (12 %) erfarte ingen forskjell. Se figur 12. Deltageren med ALS-utgaven av systemet er ikke medregnet.



Figur 12: Diagrammet viser deltagerens erfaringer av hvilke værforhold N-sensoren fungerer best under.

Deltagerens svar tilsier at systemet fungerte bra så lenge lysforholdene var stabile, under enten overskyet eller skyfritt vær. I tilfeller der skyforholdene varierte mye hendte det at deltagerne stoppet og ventet til skyene hadde passert solen. Eksempelvis hadde en av deltagerne erfart med stillestående traktor at systemets anbefalte nitrogendosering varierte med 10 kg/ha etter hvert som skyer driftet forbi solen. Etter programvareoppdateringer hadde imidlertid dette blitt betydelig bedre. Deltageren som ikke hadde erfart noen forskjell hadde kjøpt systemet i 2009 og erfaringen var dermed liten, i tillegg var programvaren oppdatert.

c) Mer om effekten av varierende solinnstråling

Effekten av varierende solinnstråling, spesielt med tanke på skiftende innstrålingsvinkel, er undersøkt og kartlagt gjennom et feltforsøk utført på Jarlsberg den 30. juni 2010. Neste kapittel (kapittel 3) i denne oppgaven legger frem materiale, metoder og resultater med diskusjon fra dette feltforsøket.

3. FELTFORSØKET PÅ JARLSBERG

– Hvilken effekt har solens skiftende innstrålingsvinkel på Yara N-sensorens doseringsanbefalinger ved nitrogengjødsling og åkersprøyting?

3.1 MATERIALE OG METODER

3.1.1 Forutsetninger for anvendt metode

For oppgavens anvendte metode forutsettes det at kartbladene (vedlegg 5a og 5b) som produseres i *SensorOffice*, gjengir N-sensorens faktiske registreringer for plantekulturens biomasse- og nitrogenverdier. Samtidig forutsettes det også at fargeintensitetsverdiene i kartene endrer seg lineært med endringen i kg N/ha og relative biomasseverdier. Dette er høyst nødvendig ettersom disse kartene er grunnlaget for vurderinger og analyser av N-sensorens funksjon ved ulike solinnstrålingsvinkler.

3.1.2 Feltarbeid

a) Beskrivelse av forsøksfeltet

Forsøket ble anlagt på Jarlsberg hovedgård ved Oslofjorden i Vestfold fylke, Norge. Sentrum av det disponerte arealet har geografiske koordinater³; Nord 59°1701, Øst 10°2300 og ligger 3 m.o.h., (Google Earth 2011). Forsøksarealet var flatt, ca 300 m langt og ca 50 m bredt. Området ligger under marin grense og jordarten på forsøksarealet var siltig lettleire med opprinnelse i hav- og elveavsetninger (Skog og landskap 2011). Vekstkulturen var vårhvetesorten Zebra, i vekststadiet avsluttende strekningsfase, BBCH 39-45 (se vedlegg 2), med forventet avlingsnivå på ca 600 kg/daa. Forsøksarealet og området rundt er avbildet i bilde 6 og 7.



Bilde 6 (venstre) og 7 (høyre):

Bilde 6 viser forsøksfeltets nøyaktige lokasjon illustrert med et blått og hvitt N-appliseringskart fra forsøksgjennomføringen. Jarlsberg hovedgård befinner seg øverst i bildet. (Google Earth 2011).

Bilde 7 viser plantekulturen og det 300 m lange kjøresporet der forsøket ble gjennomført. (Foto: Hans Håkon Helmen)

³ WGS-84-sone

b) Teknisk utstyr brukt i felt

- Hydro N-sensor, versjon 3.00, 2003 modell, (bilde 8). (Hydro N-sensor omtales som Yara N-sensor videre i oppgaven)
- N-sensor styringsterminal, versjon 3.19 LBS (FP-200.UPD), WTK, (bilde 9)
- GPS-mottager: Trimble EZ-guide, Egnos, 2004 modell
- Traktor: Fendt 818 Vario, 2003 modell, (bilde 8)
- Lysinnstrålingsmåler: Pyranometer 140, SolData Instruments (Silkeborg, Danmark)
- Vindhastighets- og temperaturmåler: Anemometer, modell 1650, TSI (USA)



Bilde 8 (venstre) og 9 (høyre):

Bilde 8: Traktor med påmontert Yara N-sensor (blå) på hyttetaket. (Foto Hans Håkon Helmen)

Bilde 9: Yara N-sensor terminalen montert inne i traktorens førerhytte. (Foto Hans Håkon Helmen)

c) Meteorologiske faktorer

Under gjennomføringen av forsøket ble det gjort registreringer av meteorologiske faktorer som var forventet å kunne påvirke forsøksresultatene. Disse faktorene var lysinnstråling, skydekke, vindstyrke, vindretning og temperatur.

Værforholdene i forsøksstidsrommet var preget av halvskyet opphold og temperaturer fra 20 °C til 26 °C. Lysinnstrålingen varierte mellom 161 W/m² og 845 W/m² og vindhastigheten skiftet fra vindstille til svak vind (3 m/s). Vindretningen var også stort sett skiftende. Siste del av forsøksstidsrommet var derimot preget av stabilt vindstille klarvær. (Se vedlegg 4)

Solens varierende innstrålingsvinkel i løpet av forsøksstidsrommet vises i vedlegg 9. Her fremgår det at den høyeste innstrålingsvinkelen under forsøksdagen forekom klokken 13:20 i forsøksledd 1.

d) Forsøksgjennomføringen

For å undersøke om variasjon i Yara N-sensorens avlesninger er avhengig av måletidspunkt på dagen, ble det 30. juni 2010 gjennomført gjentatte avlesninger av forsøksfeltet med Yara N-sensor. Forsøket ble gjennomført i tidsrommet 13:03 – 19:20. 10 minutter før forsøkstart ble systemet kalibrert mot plantekulturen i det aktuelle forsøksfeltet, der første del av kalibreringen bestod av å legge inn 6 agronomiske parametere vedrørende plantekultur, gjødsel og dosering (Yara 2004). Følgende data ble lagt inn:

1. Plantekultur: Vårhvet
Indikerer hvilke plantekultur som skal analyseres.
2. Vekststadium: 39 (bladørene til flaggblad synlig)
Vekststadiet plantestanden befinner seg i vurderes i henhold til zadoks skala (Zadoks 1974)
3. % N-innhold i gjødseltype: 24,5 %
Beskriver prosent nitrogen i handelsvaren.
4. Minimum dosering: 25 kg N/ha
Angir den minste doseringen N-sensoren vil anbefale ut i fra målingene av plantestanden.
5. Maximum dosering: 75 kg N/ha
Angir den maksimale doseringen N-sensoren vil anbefale ut i fra målingene. Systemet skal operere mellom minimum og maksimum dosering.
6. Standard dosering: 50 kg N/ha
Angir tilføringsdosen som gis dersom brukeren velger å overstyre systemet, eller dersom sensoren ikke får inn tilstrekkelige lyssignaler.

I andre del av kalibreringen ble sensoren kalibrert mot et referanseområde i forsøksfeltet. Dette området representerte de gjennomsnittlige verdiene for plantenes nitrogenstatus og biomasse i hele forsøksfeltet. Ettersom forsøksfeltet bare var 300 m langt ble denne kalibreringsprosessen kjørt over hele feltet. De meteorologiske registreringene som ble tatt rett før denne kalibreringen vises i vedlegg 4. Etter endt kalibrering ble det lagt inn 50 kg N/ha som ønsket standard dosering for referanseområdet. (Yara 2004)

Forsøksleddene (se tabell 2) er tidspunkt for måling med N-sensoren til ulike tider på dagen med forskjellige solinnstrålingsvinkler. Det ble foretatt 20 gjentak fordelt mellom forsøksledd 1, 2 og 3, henholdsvis i tidsrommene 13:03-13:49, 15:55-16:28 og 18:23-19:15. Gjentakene ble kjørt i to retninger, mot vest og mot øst i samme hjulspor med traktormontert N-sensor.

3. FELTFORSØKET PÅ JARLSBERG – Materiale og metoder

Tabell 2: Forsøksledd med tidspunkt for målingene, og starttidspunkt for gjentakene innen hvert ledd. Det ble kjørt henholdsvis 6 gjentak i ledd 1 og 2, og 8 gjentak i ledd 3. Alle målingene ble utført 30. juni 2010.

	Ledd 1	Ledd 2	Ledd 3
Gjentak 1	13:03	15:55	18:23
Gjentak 2	13:16	15:59	18:29
Gjentak 3	13:27	16:08	18:37
Gjentak 4	13:33	16:15	18:41
Gjentak 5	13:40	16:22	18:49
Gjentak 6	13:49	16:28	18:56
Gjentak 7			19:05
Gjentak 8			19:15

Før hvert gjentak ble det utført målinger og vurderinger av de tidligere omtalte meteorologiske faktorene. Disse målingene ble notert for hvert gjentak. Vindhastighet, vindretning og temperatur ble bestemt ved hjelp av et anemometer. Lysinnstrålingen ble målt med et pyranometer. Ettersom været var preget av sol med varierende skydekke var det vanskelig å forutse skydekket som ville gjelde under gjennomføringen av gjentaket. Skydekket ble derfor vurdert visuelt både før og under kjøringen av gjentaket og notert først etter gjennomføringen.

Før forsøkstart ble det markert start- og stoppunkt i åkeren slik at gjentakene skulle bli mest mulig homogene vedrørende lengde. Startpunktet lå et godt stykke fra åkerenden slik at traktoren skulle ha mulighet til å akselerere opp til bestemt kjørehastighet før passeringen av dette punktet. Ved passering av startpunktet ble N-sensorens avlesningsmodus slått på, og slått av ved passering av endepunktet. Hvert gjentak ble utført med samme fremdriftshastighet på 5 km/h.

Under kjøring av gjentakene loggføres N-sensorens måleverdier for plantestanden sammen med verdienes korresponderende GPS-koordinater (Yara 2004). Loggdata fra hvert gjentak lagres på minnekort som en logfil navngitt med gjentakets starttidspunkt. På grunnlag av disse logfilene kan det produseres kart som viser måleverdienes variasjon i forsøksfeltet. Fremgangsmåten illustreres i figur 13.

3.1.3 Bearbeiding av innsamlet data

a) SensorOffice

Logfilene ble analysert i det web-baserte programmet *SensorOffice*, (Yara 2011a). I dette programmet omformes loggfilene til to karttyper som illustrerer N-sensorens registreringer av; 1) plantestandens relative biomasseverdier (biomassekart) og 2) plantestandens nitrogenbehov (nitrogenkart). Se vedlegg 5a og 5b. Under denne konverteringen ble det foretatt følgende valg angående klasse og intervallinndeling i kartene:

Nitrogenkart; klassestørrelse 5 kg N/ha i intervallet 25 – 75 kg N/ha.

Biomassekart; klassestørrelse 0,5 i intervallet 10 – 14 relative biomasseverdier.

Det var hensiktsmessig med et intervall som kunne fange opp hele variasjonsspekteret for samtlige kart. Derfor ble intervallet i nitrogenkartene satt i henhold til sensorsystemets kalibreringsinnstillinger for minimum- og maksimumdosering av nitrogen. For biomassekartene var det derimot ingen grenseverdier å gå ut ifra. Grenseverdiene ble anslått ved å først prosessere kart for noen få gjentak som var forventet å representere minimum- og maksimumverdiene. Disse anslåtte grenseverdiene viste seg å være gyldige etter at alle biomassekartene var prosessert.

Konturlinjer og kjørespor ble skjult for å unngå eventuelle fargeforstyrrelser under påfølgende bildeanalyse. Kartene ble automatisk lagret som pdf-format (Portable Document Format). Denne type format har til hensikt å gjengi dokumenter uavhengig av type programvare som ble brukt ved produksjon av dokumentet (Adobe 2011). Formatet egnert seg ikke ved bildeanalyse.

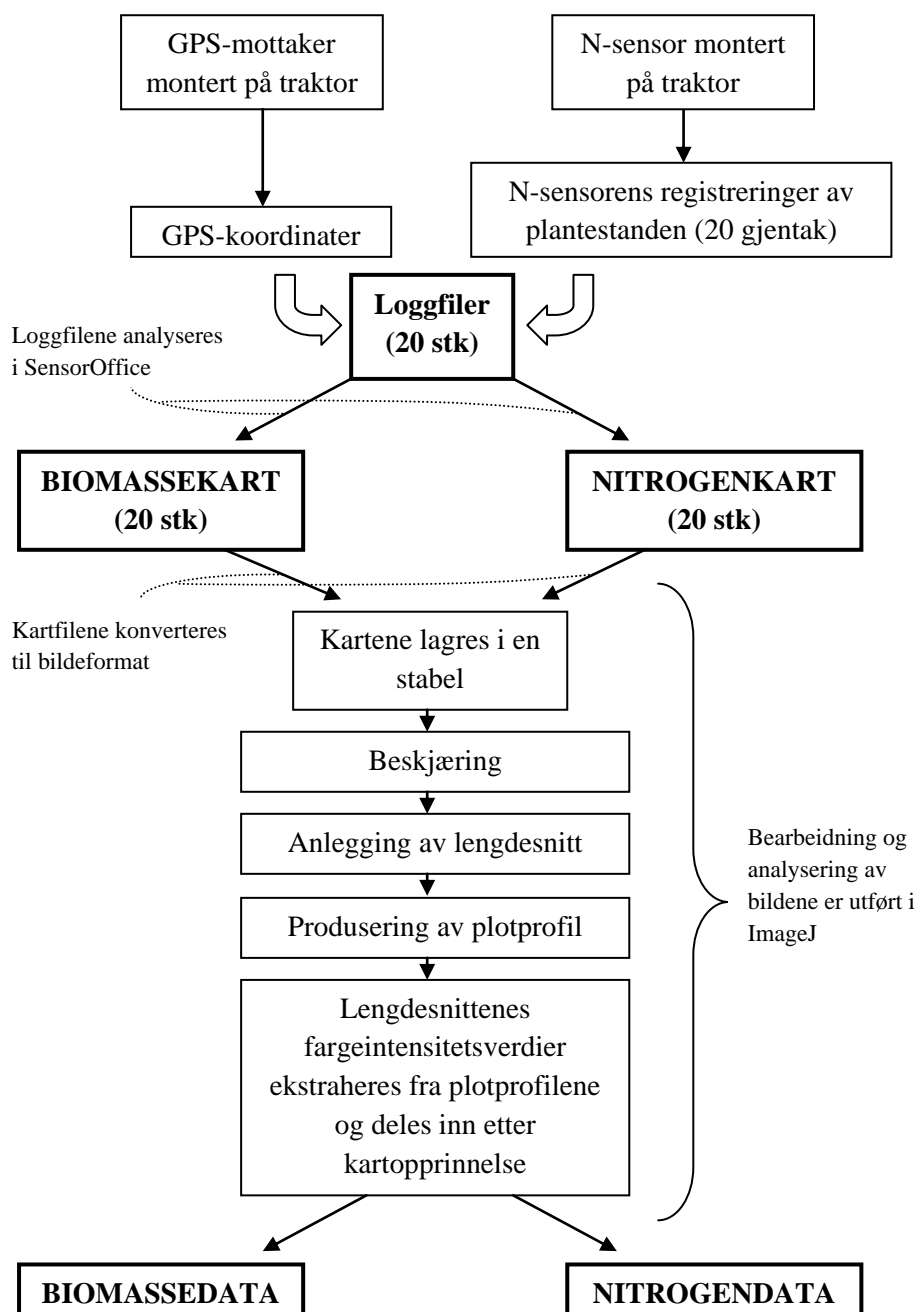
b) Filkonvertering

For å kunne bruke kartene som grunnlag for videre analyse måtte de konverteres fra pdf-format til bildeformat. Formatet TIFF (Tagged Image File Format) ble valgt på grunn av formatets anvendelighet. Programvaren ”AP PDF to Image” (AP PDF to Image Batch Convert 2010) ble brukt for filkonvertering.

c) Bildebehandling med Image-J

Tilgjengelighet og brukervennlighet var avgjørende for at bildebehandlingsprogrammet ”ImageJ 1.43u” (ImageJ 2010) ble valgt for videre bearbeiding og analysing av kartene. Programmet inneholder funksjoner som raskt og enkelt bidrar til å analysere og sammenligne bilder.

Fremgangsmåten i bildeanalysen vises i figur 13.

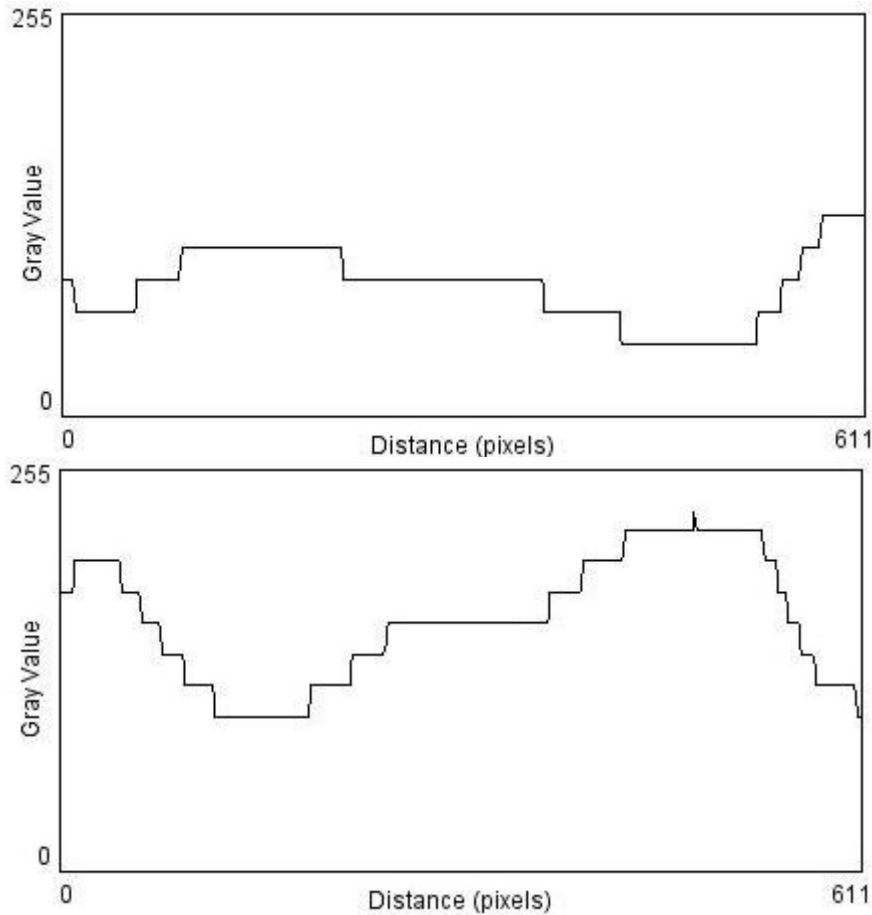


Figur 13: Figuren viser anvendt metode for å vise variasjoner i N-sensorens registreringer av plantestanden. Metoden resulterer i datasettene "Biomassedata" og "Nitrogendata" som danner grunnlaget for videre statistiske analyser.

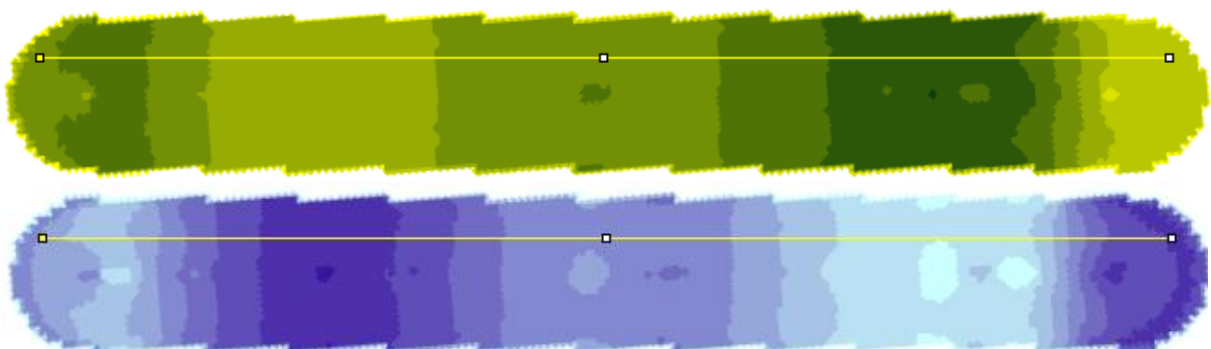
Samtlige kart (40 stk) ble importert til ImageJ og lagret som én fil i form av en bildestabel. Ved å bearbeide ett kart i en slik stabel blir tilsvarende bearbeiding gjort automatisk for alle kartene som er lagret i stabelen. Før bildeanalysingen ble tekst og unødvendige innramminger rundt kartene redigert bort. Det ble også produsert bildemontasjer som viser alle kartene stabelt kronologisk over hverandre. Montasjene ble laget både i farger (vedlegg 6a) og gråskala (vedlegg 6b) ettersom gråskalaverdier benyttes ved analysing av kartene.

Analysingen ble utført ved å først anlegge et lengdesnitt (linje) i bildestabelen (figur 15). Ut fra dette lengdesnittet var det mulig å ekstrahere et plotprofil (figur 14) som viser hver piksels gråskalaverdi

langs lengdesnittet. Det anlagte lengdesnittet har nøyaktig samme posisjon i hvert kart og er 612 piksler langt og én piksel høyt. Gråskalaen strekker seg fra 0 (svart) til 255 (hvit) i intensitet. På grunnlag av variasjonen i kartenes gråskalaverdier kan kartenes fargevariasjoner per gjentak beskrives. Gråskalaverdiene omtales som fargeintensitetsverdier videre i oppgaven.



Figur 14: Eksempel på plotprofil over lengdesnittet for et biomassekart (øverst) og et nitrogenappliseringskart (nederst). X-akse = avstand i piksler, Y-akse = fargeintensitet.



Figur 15: Anlagt lengdesnitt (gul linje) med samme posisjon i alle kartene i bildestabelen, biomassekart øverst og nitrogenkart nederst. Én piksel på kartet tilsvarer ca 0,5 meter i forsøksfeltet. Ved å sammenligne fargeintensitetsvariasjonen langs lengdesnittet i denne figuren med plotprofilene i figur 14, kan en se at verdiene i plotprofilene stammer fra disse lengdesnittene.

Hvert plotprofil inneholder 612 koordinatpunkter, der x- og y-verdiene beskriver henholdsvis lokasjon og fargeintensitet langs lengdesnittet. Ved hjelp av "list"-funksjonen i ImageJ ble disse koordinatene overført og inndelt mellom to regneark. Disse regnearkene utgjør oppgavens to datasett, henholdsvis "Biomassedata" og "Nitrogendata". Inndelingen ble foretatt ut fra koordinatenes kartopprinnelse slik at koordinatene fra lengdesnittet i biomassekartene ble lagret til "Biomassedata" (vedlegg 7), og koordinatene fra lengdesnittet i nitrogenkartene ble lagret til "Nitrogendata" (vedlegg 8).

På grunnlag av "Biomassedata" og "Nitrogendata" ble det produsert illustrasjonsfigurer som viser sammenhengen mellom datasettenes parametre; "Avstand", "Tid" og "Fargeintensitet". Se figur 17 og 18. "Fargeintensitet" er her en indirekte parameter som beskriver N-sensorens registrerte biomasse- og nitrogenverdier for plantestanden. Skalaen for fargeintensitet ble innskrenket i forhold til den opprinnelige gråskalaen som strekker seg fra 0 til 255, (figur 14). For figur 17 er skalaen innskrenket til området 30 – 170, og for figur 18 strekker skalaen seg fra 80 – 240. Dette ble gjort for å illustrere variasjonen i fargeintensitet ytterligere. Figurene ble utformet i databehandlingsprogrammet Matlab (Matlab 2010) ved bruk av "3D mesh plot"-funksjonen.

3.1.4 Statistisk dataanalyse

Multipel regresjon (Mendenhall & Sincich 2003) ble valgt som modell for å vise sammenhengen mellom datasettenes variabler. Polynomisk regresjon ble brukt i denne modellen ettersom kartene viste en tydelig tendens til at "Fargeintensitet" som funksjon av "Avstand" varierte i et sigmoid mønster. Dette illustreres i figur 14, der plotprofilene viser en tydelig sigmoid form. Av denne grunn vil omforming av variabelen "Avstand" til et tredjegradspolynom bidra til at en større del av variasjonen i datasettet forklares av modellen. Andregradspolynomet til "Tid" ble også lagt til ettersom fargeintensiteten i kartene så ut til å øke mest ved de sene tidspunktene.

I regresjonsmodell 1 (Biomassedata) er forklaringsvariabelen "Lysinnstråling" (X_3) lagt til. Dette viste seg nødvendig for å fjerne systematikk i feilleddene for "Biomassedata". Variabelen ble ikke inkludert i regresjonsmodell 2 (Nitrogendata) ettersom det ikke viste noen forskjell i mønsteret i residualplottet, i tillegg ville inkluderingen gi høye p-verdier for tidsvariablene. Av denne grunn benyttes to modeller ved analysing av datasettene.

Regresjonsmodell 1 ("Biomassedata")

$$Y_i = \alpha + (\beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{1i}^2 + \beta_3 X_{1i}^3) + (\beta_4 X_{2i} + \beta_5 X_{2i}^2) + (\beta_6 X_{3i}) + e_i$$

Regresjonsmodell 2 ("Nitrogendata")

$$Y_i = \alpha + (\beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{1i}^2 + \beta_3 X_{1i}^3) + (\beta_4 X_{2i} + \beta_5 X_{2i}^2) + e_i$$

Y = Fargeintensitet, X_1 = Avstand, X_2 = Tid, X_3 = Lysinnstråling α = kryssningspunkt med Y-akse, β = modellens stigningstall, e = feilledd. Feilleddene er uavhengige og normalfordelte med forventning 0 og ukjent varians σ^2 . (Mendenhall & Sincich 2003)

Regresjonsmodellen er en kalibreringsmodell og er kun gjeldende for dette forsøket. Den kan brukes til å predikere resultater for N-sensorens funksjonalitet på senere målte datasett, men må først valideres mot nye data (Esbensen 2000). Validering er ikke foretatt i dette arbeidet.

Ledd 3 med 8 gjentak i forhold til ledd 1 og 2 med 6 gjentak per ledd vil gi ubalanse mellom leddene i regresjonsanalysen (Mendenhall & Sincich 2003). Av den grunn ekskluderes gjentakene med starttidspunkt 18:41 (gjentak 1841) og 19:15 (gjentak 1915) fra ledd 3 i datasettene slik at hvert ledd inneholder 6 gjentak. Leddene vil da være likestilt med tanke på antall gjentak og hvor mye hvert ledd ”trekker” på regresjonslinjen. Gjentakene 1841 og 1915 ble valgt bort siden dette gav best kontinuitet i tidsrekkefølgen mellom resterende gjentak. Dette illustreres i figur 16.



Figur 16: Figuren viser gjentakenes plassering (blå punkter) på tidslinjen. Gjentakene 1841 og 1915 ble valgt fjernet med hensyn på tidskontinuitet i forsøksledd 3. Dette ble gjort for at hvert ledd skal vekte like mye avhengig av antall gjentak i regresjonsanalysen.

De statistiske analysene ble utført i statistikkprogrammet Minitab, versjon 16 (Minitab 2010).

3.1.5 Vurdering av metodens egnethet for problemstillingen

N-sensorens *reelle gjennomsnittsverdier* for biomasse og N-applisering ble sammenlignet med gjentakstidspunkt. Disse gjennomsnittstallene ble produsert av N-sensorsystemet under gjennomføringen av gjentakene, og ble senere oppgitt i de omtalte kartbladene prosessert i *SensorOffice* (vedlegg 5a og 5b). Sammenhengen mellom de reelle gjennomsnittsverdiene og tiden ansees i dette forsøket som en fasit for hvor mye N-sensormålingene varierer avhengig av tiden. Forsøkets anvendte metode for å identifisere denne variasjonen, tar for seg kartenes variasjoner i fargeintensitet avhengig av tiden. Resultatene for denne metoden blir derfor vurdert ved at de stilles opp mot sammenhengen mellom reelle gjennomsnittsverdier avhengig av tid.

3.2 RESULTATER OG DISKUSJON

I de to følgende avsnittene (3.2.1 og 3.2.2) presenteres resultatene og diskusjonen fra feltforsøket på Jarlsberg hovedgård. Resultatene er fremarbeidet i henhold til omtalte metoder.

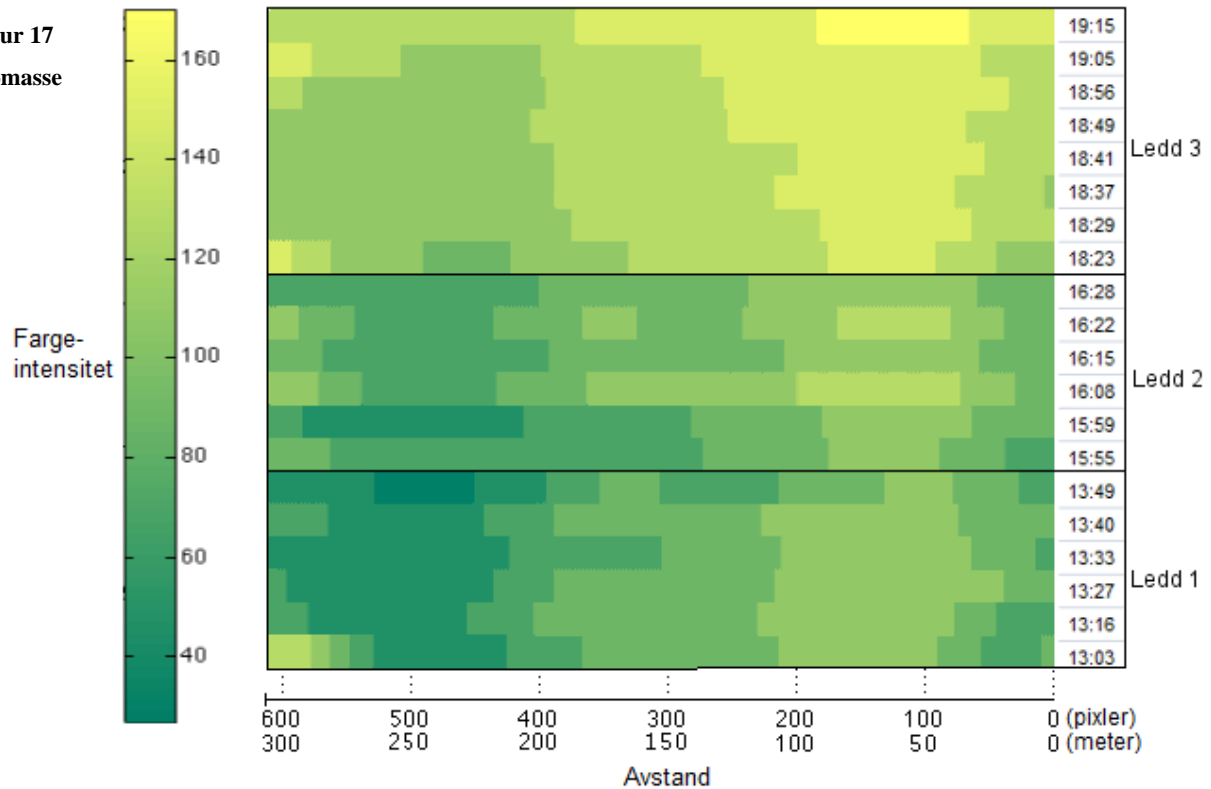
3.2.1 RESULTATER

Kartmaterialet som ble produsert i SensorOffice på grunnlag av N-sensor registreringene ble prosessert til talldata gjennom databehandlingen beskrevet i kapittel 3, avsnitt 1.3. Dette tallmaterialet er grunnlaget for figurene og statistikkanalysene som presenteres i dette kapittelet.

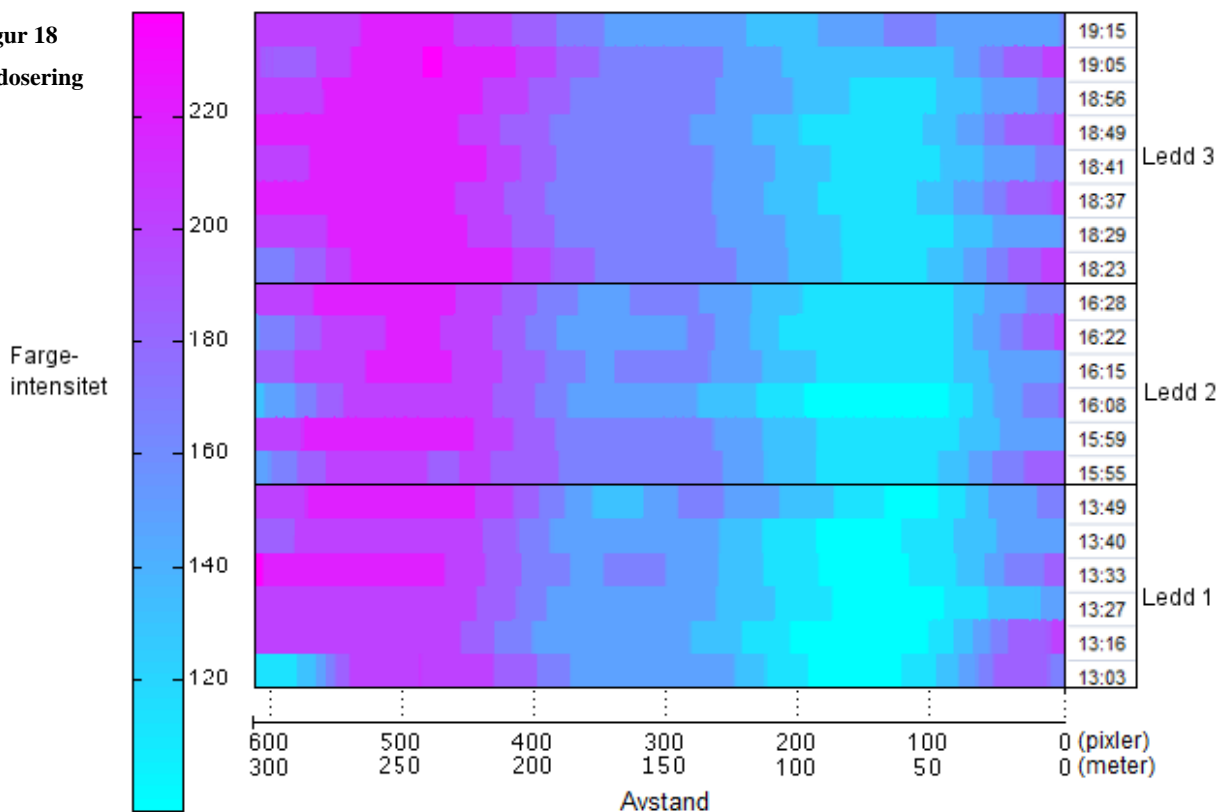
I figur 17 og 18 vises resultatene fra bildeanalysen av biomasse- og nitrogenkartene. Figurene illustrerer gråskalaverdiene til pikslene i lengdesnittet som ble anlagt i samtlige kart. Resultatene fra lengdesnittet i hvert kart er stablet kronologisk over hverandre med hensyn på gjentakets starttidspunkt. Dette visualiserer sammenhengen mellom parameterne ”Tid”, ”Avstand” og ”Fargeintensitet” i datasettene ”Biomassedata” (figur 17) og ”Nitrogendata” (figur 18). Endring i fargeintensitet mellom gjentakene i samme punkt illustrerer N-sensorens varierende evne til å registrere samsvarende verdier for biomasse og nitrogenbehov. Endringen er registrert ut fra målinger av samme plantefelt ved ulike tidspunkt. Mesteparten av denne variasjonen kan forklares av varierende lysinnstråling i form av en gradvis skiftende solinnstrålingsvinkel. I tillegg vil ulike skyforhold per gjentak gi noe variasjon.

Høye verdier for fargeintensitet tilsvarer lave biomasseverdier i figur 17 og lav nitrogendosering i figur 18.

Figur 17
Biomasse



Figur 18
N-dosering



Figur 17 og 18: Figurene illustrerer endringene i N-sensorens analyseresultater avhengig av avstand og analysetidspunkt. X-aksen viser piksellokasjonen i lengdesnittet som ble anlagt i bildestabelen og tilsvarende avstand (m) i forsøksfeltet. Y-aksen viser 20 forskjellige analysetidspunkt mellom klokken 13:03 og 19:15. Fargeintensiteten illustrerer variasjonen i biomasse (figur 17) og variasjonen i anbefalt nitrogenapplisering (figur 18).

I figurene ovenfor illustrerer X-aksen den naturlige variasjonen i plantestanden henholdsvis for biomasse og nitrogenbehov. Y-aksen illustrerer variasjonene i N-sensorens avlesningsverdier avhengig av avlesningstidspunkt. Variasjoner i figurene vises i form av varierende fargeintensitet. Gjentakene er delt mellom ledd 1, 2 og 3 i henhold til tabell 2.

Ut i fra figur 17 er det tydelig at verdiene for biomasse endrer seg med tiden. Dette vises ved at den gjennomsnittlige fargeintensiteten og dermed N-sensorens registreringer per gjentak stiger fra start- til sluttidspunkt langs Y-aksen. Den mest vesentlige endringen skjer i overgangen fra ledd 2 til ledd 3, og mellom gjentakene i ledd 3. Endringen betyr at N-sensoren registrerer mindre biomasse for samme plantestand etter hvert som tiden forløper utover dagen og solens innstrålingsvinkel blir lavere. I tillegg illustrerer figuren at utslagene for avstand gradvis minskes med tiden. Dette er spesielt tydelig i ledd 3.

I figur 18 for ”Nitrogendata” vises ingen endring i fargeintensitet avhengig av tiden. Det kan heller ikke antydes noen endring i utslag for avstand avhengig av tiden.

De omtalte trendene som illustreres av figur 17 og 18 undersøkes for statistisk signifikans i påfølgende avsnitt. I statistikkanalysene er gjentakene 1841 og 1915 ekskludert fra datasettene i henhold til figur 16.

a) Resultater fra regresjonsanalyse

Sammenhengen mellom responsen ”Fargeintensitet” og forklaringsvariablene ”Avstand”, ”Avstand²”, ”Avstand³”, ”Tid”, ”Tid²” og ”Lysintensitet” påvises av regresjonsmodell 3.

Resultatene fra regresjonsanalysen for datasettene ”Biomassedata” og ”Nitrogendata” presenteres henholdsvis i tabell 3 og 4.

Tabell 3: Statistiske resultater for datasettet ”Biomassedata”. Regresjonsmodell 1 er anvendt.

B I O M A S S E D A T A	Predikator	Koeffisient	Standardfeil	T-verdier	P-verdi	Frihets grader	Seq SS
		Konstant (α)	596,00	7,412	80,45	0,000	
	Avstand	0,499045	0,0056	89,31	0,000	1	1902357
	Avstand ²	-0,00221	0,00002	-104,31	0,000	1	63001
	Avstand ³	0,000002	0,00000002	101,68	0,000	1	1101642
	Tid	-0,766309	0,009	-81,14	0,000	1	4345429
	Tid ²	0,000270	0,000003	91,51	0,000	1	733274
	Lysinstråling	0,029782	0,0006	46,81	0,000	1	233 452
	R² = 0,877					SSR	8 379 154
						SSE	1 173 082
						SST	9 552 236

Tabell 4: Statistiske resultater for datasettet ”Nitrogendata”. Regresjonsmodell 2 er anvendt.

N I T R O G E N D A T A	Predikator	Koeffisient	Standardfeil	T-verdier	P-verdi	Frihets	
						grader	Seq SS
	Konstant (α)	222,15	10,04	22,18	0,000		
	Avstand	-0,98460	0,00766	-128,51	0,000	1	7 733 425
	Avstand ²	0,00414	0,00002903	142,49	0,000	1	906 397
	Avstand ³	-0,000004	0,00000003	-133,16	0,000	1	3 552 169
	Tid	-0,07668	0,01266	-6,06	0,000	1	440 442
	Tid ²	0,00003296	0,00000393	8,39	0,000	1	14 086
	R² = 0,851					SSR	12 646 519
						SSE	2 205 686
						SST	14 852 205

Forklaring av noen parametre i tabellene 3 og 4:

SSR = Kvadratsum som knyttes til den systematiske delen av modellen.

SSE = Kvadratsum som knyttes til feilleddene, (tilfeldig variasjon).

SST = SSR + SSE = Totalkvadratsum.

Sequential Sums of Squares (Seq SS) = Verdier for den spesifikke variabels bidrag til modellens kvadratsum (SSR), avhengig av variabelenes rekkefølge i regresjonsformelen.

p-verdi = Signifikanssannsynlighet.

R² = Determinasjonskoeffisient.

(Løvås 2004), (Mendenhall & Sincich 2003), (Minitab 2010)

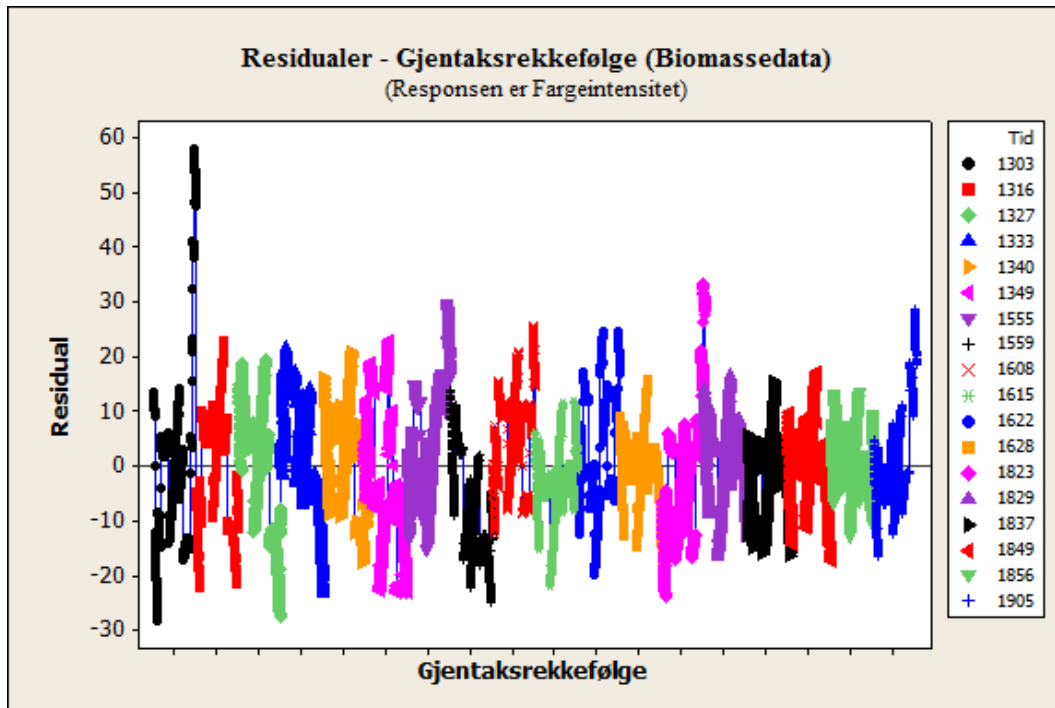
Determinasjonskoeffisientene er 0,877 for ”Biomassedata” og 0,851 for ”Nitrogendata”. Dette betyr at henholdsvis 87,7 % og 85,1 % av variasjonen i ”Fargeintensitet” forklares av variablene i modellen.

Videre gav analysene p-verdiene 0,000 for samtlige forklaringsvariabler i begge datasettene. Disse p-verdiene tilsier at samtlige forklaringsvariabler i modellen har signifikant sammenheng med ”Fargeintensitet” i begge datasettene. Sammenhengen er signifikant på < 0,1%-signifikansnivå.

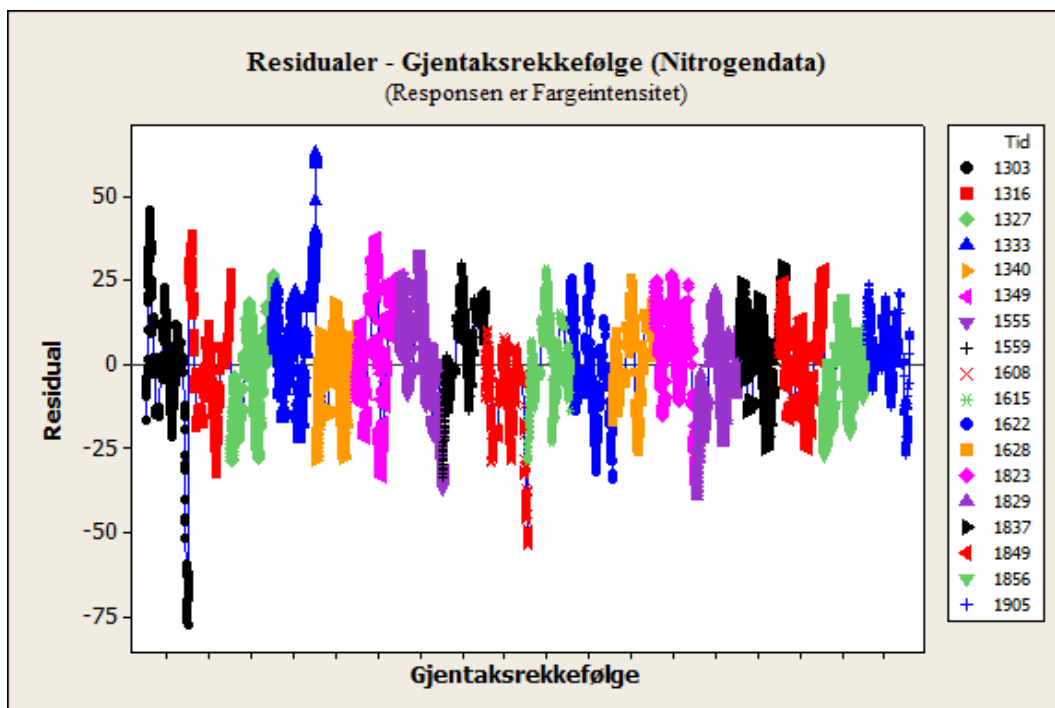
(Mendenhall & Sincich 2003)

b) Residualer

Responsens avvik fra den tilpassede modellen illustreres med residualplott. For datasettene ”Biomassedata” og ”Nitrogendata” fremstilles residualene mot observasjonsrekkefølgen i henholdsvis figur 19 og 20.



Figur 19: Figuren viser residualplot for datasettet ”Biomassedata” etter utført regresjonsanalyse. ”Regresjonsmodell 1” er brukt. Residualene er gruppert etter gjentakstidspunkt.



Figur 20: Figuren viser residualplot for datasettet ”Nitrogendata” etter utført regresjonsanalyse. ”Regresjonsmodell 2” er brukt. Residualene er gruppert etter gjentakstidspunkt.

I residualplottene skiller noen residualer seg ut i form av ”ekstreme” verdier, såkalte ”outliers”. Kriteriet for at et residual skal karakteriseres som ”outlier” er at den standardiserte formen av residualen har absoluttverdi større enn 3 (Mendenhall & Sincich 2003). I ”Biomassedata” og ”Nitrogendata” karakteriseres henholdsvis 56 og 85 av residualene som ”outliers”. Dette tilsvarer henholdsvis 0,5 % og 0,8 % av det totale antall residualer i datasettene. ”Outlier”-residualene er spesielt fremtredende mot slutten av gjentak ”1303”. Dette gjentaket skiller seg ut både i ”Biomassedata” og ”Nitrogendata”, men i ”Nitrogendata” er de aktuelle residualene negative i stedet for positive. Dette forklares av den negative sammenhengen mellom fargeintensitet i biomassekartene og nitrogenappliseringskartene. Vi vet at N-sensoren vil gi mye nitrogen der den registrerer lave biomasseverdier. Residualenes fortegn i ”Biomassedata” vil derfor bli motsatt av residualene i ”Nitrogendata”, ettersom høye fargeintensitetsverdier (lite biomasse) i ”Biomassedata” tilsvarer lave fargeintensitetsverdier (høy N-dosering) i ”Nitrogendata”. ”Outliers” observeres også i gjentak ”1333” og ”1608” i ”Nitrogendata”, og gjentak ”1823” i ”Biomassedata”.

Forekomsten av ”outlier”-residualene skyldes lite presisjon i gjennomføringen av gjentakene. I utgangspunktet skal hvert gjentak være ca 300 meter langt, men på grunn av manuell handling av både traktor og sensor vil denne lengden variere noe. For de nevnte gjentakene har N-sensoren blitt aktivert/deaktivert før eller etter traktoren har passert avgrensingsmarkørene i forsøksfeltet. Dette forklarer utbredelsen av ”ekstreme” residualer i begynnelsen og slutten av de nevnte gjentakene, og at residualene har samme plassering i begge residualplottene.

c) Variasjon forklart av Avstand, Tid og Lysinnstråling

”Seq SS” etter det engelske ”Sequential sums of squares” viser hvor mye de spesifikke variablene bidrar til modellens forklarte variasjon (SSR). Fordelingen er sekvensert etter variablenes oppførte rekkefølge i regresjonsformelen (Minitab 2010). Eksempelvis for variabel nr. 2 i rekkefølgen (Avstand^2) vil mye av variasjonen allerede være forklart av variabelen som står foran i rekkefølgen (Avstand). Seq SS for ” Avstand^2 ” viser da hvor mye variabelen forklarer av den gjenstående uforklarte variasjonen.

For datasettene ”Biomassedata” og ”Nitrogendata” er forklaringsvariablene for tid plassert til slutt i regresjonsmodellen. Betydningen av rekkefølgen i regresjonsformelen ble testet i begge datasettene. Det viste seg at summen av variasjonen forklart av tidsvariablene (”Tid” og ” Tid^2 ”) var uavhengig av rekkefølge i forhold til avstandsvariablene. Det betyr at 100 % av variasjonen som kan forklares av tidsvariablene, *ikke* kan forklares av avstandsvariablene. En liten del av variasjonen som forklares av tidsvariablene kan derimot også forklares av ”Lysinnstråling”.

I ”Biomassedata” utgjør tidsvariablene 53,2 % av totalvariasjonen, mens avstandsvariablene og lysinnstråling utgjør henholdsvis 32,1 % og 2,4 % av totalvariasjonen (SST). Dersom ”Lysinnstråling”

var plassert foran tidsvariablene ville den forklart 2,7 %. Tilfeldig variasjon (SSE) utgjør resterende 12,3 % av totalvariasjonen.

I ”Nitrogendata” utgjør avstandsvariablene 82,1 % og tidsvariablene 3,1 % av totalvariasjonen. Resten av variasjonen i datasettet står igjen som tilfeldig variasjon og utgjør 14,9 %.

Koeffisienten til ”Lysinnstråling” i ”Biomassedata” viser at ”Fargeintensitet” øker med 0,029782 når ”Lysinnstråling” øker med 1 og avstandsvariablene og ”Tid” holdes konstant. I løpet av forsøktidsrommet varierer lysinnstrålingen mellom 161 W/m² og 845 W/m², tilsvarende en endring i ”Fargeintensitet” på: $0,029782 * (845 - 161) \approx 20,4$ gråskalaverdier. Dette utgjør en klassestørrelse på 0,5 relative biomasseverdier i biomassekartene (se vedlegg 10).

Vedrørende tidens innvirkning kan ikke en generell endring i ”Fargeintensitet” påvises ved å øke tiden med 1 ettersom forholdet mellom ”Fargeintensitet” og tid er kvadratisk. Denne endringen vil alltid være forskjellig avhengig av tiden. I dette forholdet viser ”Tid²”-koeffisienten krumningen til forholdets kurve. Positive koeffisienter i begge datasettene tilsvarer positiv konkav krumning (skålformet). Når dette er kjent kan tidspunktet der ”Fargeintensitet” skifter fra å synke til å stige påvises ved å estimere kurvenes minimumspunkt. I følge regresjonsmodell 1 og 2 eksisterer fargeintensitetens minimumspunkt i ”Biomassedata” og ”Nitrogendata” ved følgende tidspunkt:

$$\text{Biomassedata: } T_{\min} = -\frac{\beta_1}{2\beta_2} = -\frac{-0,766309}{2 * 0,000270} = 1419 \text{ (tilsvarende tidspunkt 14:11)}$$

$$\text{Nitrogendata: } T_{\min} = -\frac{\beta_1}{2\beta_2} = -\frac{-0,07668}{2 * 0,00003296} = 1163 \text{ (tilsvarende tidspunkt 11:38)}$$

Estimatet tilsier at fargeintensiteten i biomassekartene synker fra forsøksstart (klokken 13:03) til minimumspunktet tilsvarende tidspunkt 14:11, for så å stige frem til forsøksslutt (19:05). For nitrogenkartene forekommer estimert minimumspunkt før forsøksstart. Dette betyr at fargeintensiteten i kartene er estimert til å øke gjennom hele forsøktidsrommet. Koeffisientene er imidlertid små, og minimumsverdiene anses derfor som relativt unøyaktige, spesielt i ”Nitrogendata”.

N-sensorens registreringsvariasjon avhengig av tidspunkt kan identifiseres av differansen i predikert fargeintensitet mellom T_{\min} og siste gjennomførte gjentak (1905). For ”Nitrogendata” benyttes derimot første gjennomførte gjentak (1303) i stedet for verdier ved T_{\min} ettersom minimumspunktet ligger utenfor forsøktidsrommet. For ”Biomassedata” er det også valgt å bruke registrerte verdier for gjentak som ligger nærmest T_{\min} , istedenfor estimerte verdier i minimumspunktet. Dette vil gi prediksjoner som stemmer bedre overens med det en kan regne med å observere. Predikert fargeintensitet for gjentak ”1628” er også inkludert slik at modellenes fargeintensitetsdifferanse mellom Ledd 1, 2 og 3 kan identifiseres. Verdier for avstand er valgt i områdene der fargeintensiteten ser ut til å være mest stabil. Dette gjør at innvirkningen av gjentakenes varierende lengde blir minst mulig. Ut fra denne hensikten er piksellokasjonene 490 og 150 valgt ut, (se lokasjonene i figur 17 og

18). For utvalgte verdier for ”Tid” og ”Avstand” predikerer⁴ ”Regresjonsmodell 1 og 2” fargeintensiteter for henholdsvis ”Biomassedata” og ”Nitrogenerdata” (tabell 5).

Tabell 5: Tabellen viser predikerte fargeintensiteter i ”Biomassedata” og ”Nitrogenerdata” for gjentak 1349, 1628 og 1905. Prediksjonene er utført for to utvalgte avstander/lokasjoner i kartenes lengdesnitt. Forsøket predikerte endring i fargeintensitet avhengig av tid vises av differansen mellom gjentak ”1905” og gjentak som ligger nærmest datasettenes T_{min}

	Gjentak	Avstand	Lysinnstråling	Pred. fargeint. "Biomassedata"	Pred. fargeint. "Nitrogenerdata"
	1303	490	-	-	201,3
	1349	490	339	48,2	-
	1628	490	419	64,0	208,3
	1905	490	255	109,3	218,9
Diff. (1905 - 1349)				61,0	17,6
	1303	150	-	-	109,6
	1349	150	339	95,3	-
	1628	150	419	111,0	116,7
	1905	150	255	156,3	127,3
Diff. (1905 - 1349)				61,0	17,6

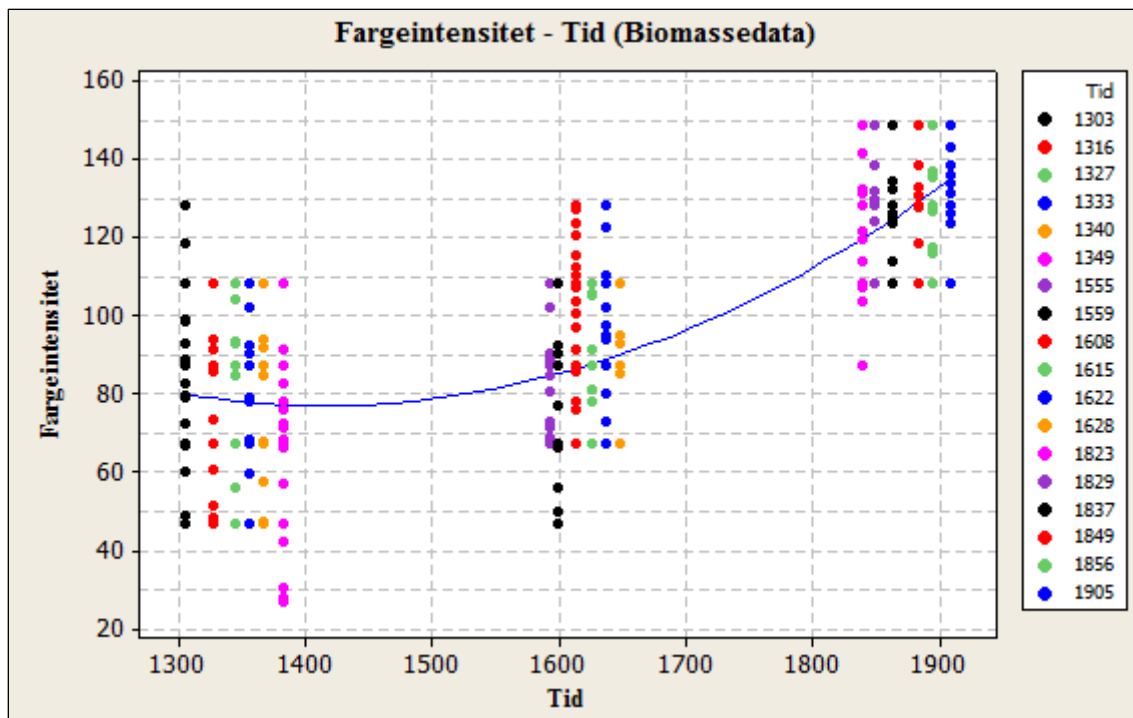
Forsøktidsrommets predikerte endring i fargeintensitet per tid utgjør 61 gråskalaverdier ved begge avstandene i ”Biomassedata”, fordelt med 15,8 gråskalaverdier fra 13:49 (tilnærmet minimumspunkt) til 16:28, og 45 gråskalaverdier fra klokken 16:08 til 19:05 – tilsvarende 74 % av totalendringen.

Totalendringen utgjør 3 klassestørrelser i biomassekartene, tilsvarende 1,5 relative biomasseverdier. I ”Nitrogenerdata” utgjør fargeintensitetens predikerte endring per tid 17,6 gråskalaverdier fra 13:03 til 19:05, fordelt med 7 gråskalaverdier fra 13:05 til 16:28, og 10,6 gråskalaverdier fra 16:28 til 19:05 - tilsvarende 60 %. Totalendringen utgjør 1 klassestørrelse i nitrogenkartene, tilsvarende 5kg N/ha. I begge datasettene er differansen mellom gjentakenes predikerte fargeintensitet den samme ved begge avstandene (150 og 490).

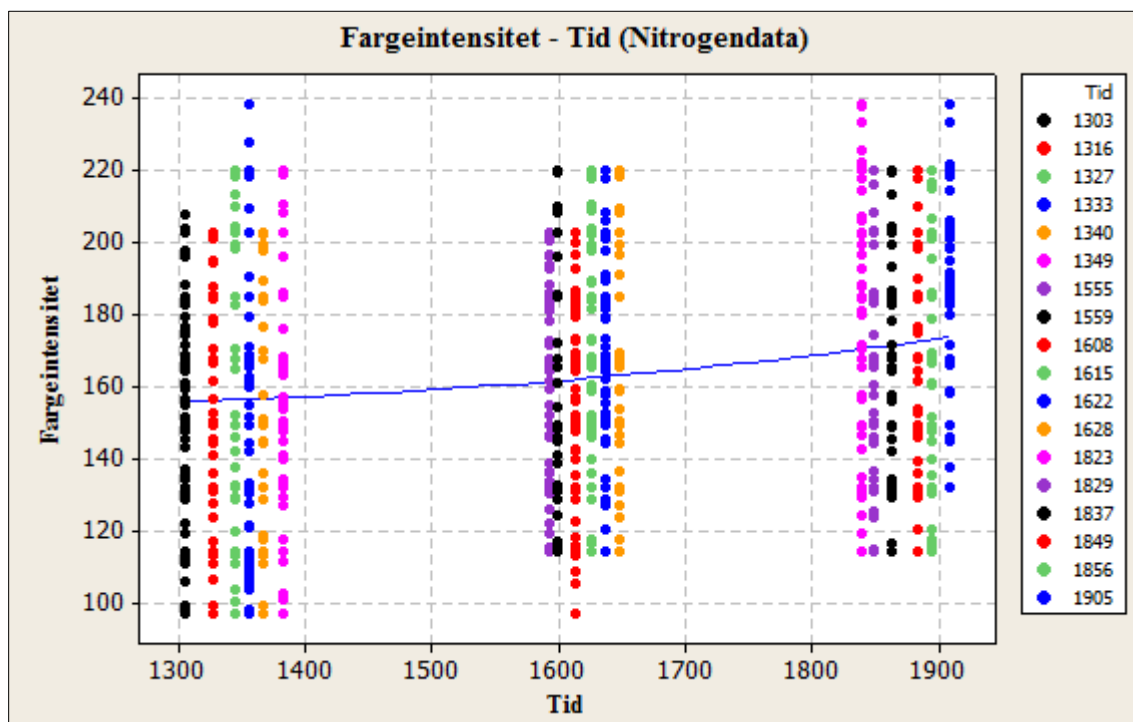
Kurven i figur 21 og 22 illustrerer stigning i ”Fargeintensitet” ved økende gjentakstidspunkt i ”Biomassedata” og ”Nitrogenerdata”.

⁴ Prediksjonene er utført i Minitab 16.

3. FELTFORSØKET PÅ JARLSBERG – Resultater og diskusjon



Figur 21: Figuren viser sammenhengen mellom variablene "Fargeintensitet" og "Tid". Sammenhengen forklarer 53,2 % av den totale variasjonen i "Biomassedata". Predikert endring i fargeintensitet fra gjentak 1349 til 1905 utgjør 61 gråskalaverdier, tilsvarende 1,5 relative biomasseverdier.

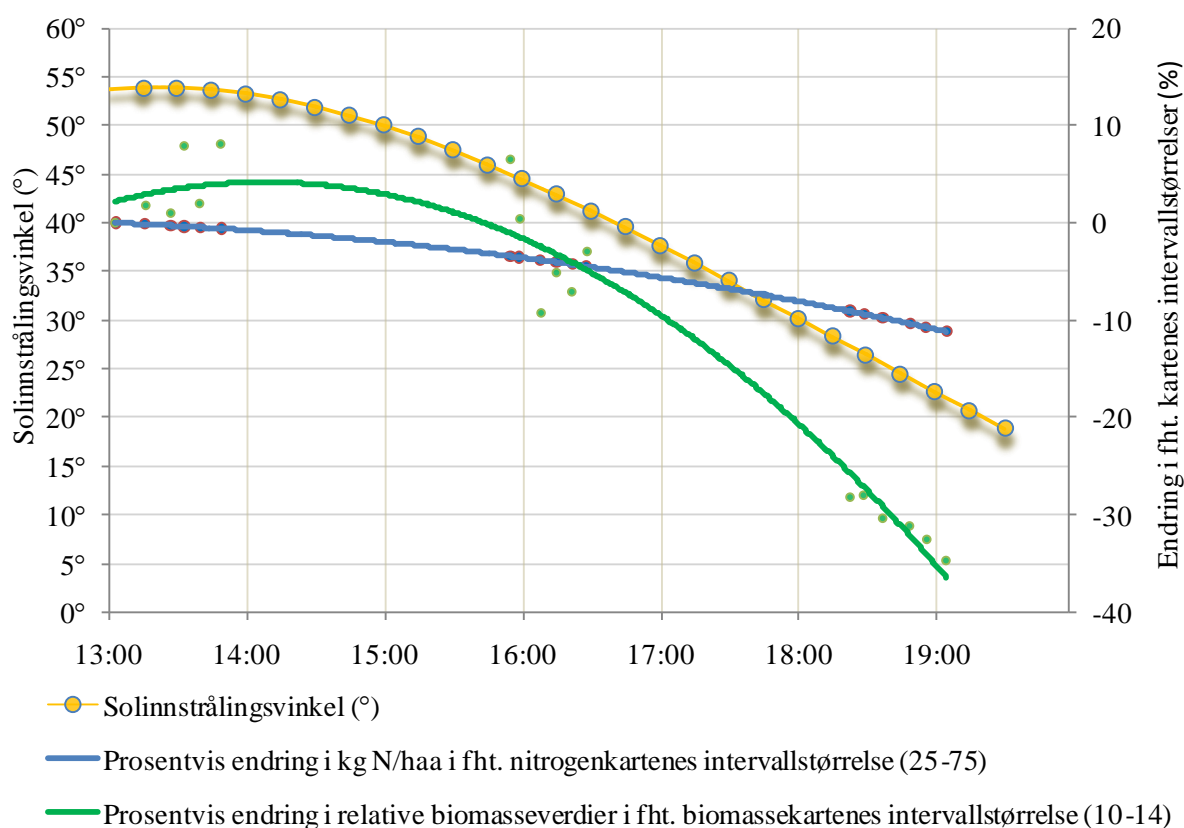


Figur 22: Figuren viser sammenhengen mellom variablene "Fargeintensitet" og "Tid". Sammenhengen forklarer 3,1 % av den totale variasjonen i "Nitrogendata". Predikert endring i fargeintensitet fra gjentak 1303 til 1905 utgjør 17,6 gråskalaverdier, tilsvarende 5 kg N/ha.

Sammenhengen mellom figurenes variabler er påvist av "Regresjonsmodell 1" for "Biomassedata" og "Regresjonsmodell 2" for "Nitrogendata", og påviser at tidsvariablene påvirker endringen i

fargeintensitet med 53,2 % i ”Biomassedata” og 3,1 % i ”Nitrogendata”. Punktene spredning per gjentak langs Y-aksen i disse figurene viser variasjonen i fargeintensitet avhengig av avstand.

Predikert fargeintensitet for samtlige gjentak ved piksellokasjon 490 ble videre omregnet til variasjon i ”relative biomasseverdier” og ”kg N/ha” avhengig av tid. Omregningen ble foretatt ut fra forholdstallet mellom karttypenes intervallstørrelse i fargeintensitet og overensstemmende intervallstørrelser i kg N/ha og relative biomasseverdier (se vedlegg 10). I figur 23 vises forholdenes tilpassede annengradskurver sammen med tidspunktene korresponderende solinnstrålingsvinkler. Endringen i kg N/ha og relative biomasseverdier per tid vises som prosent av intervallstørrelsen i de respektive kartene.

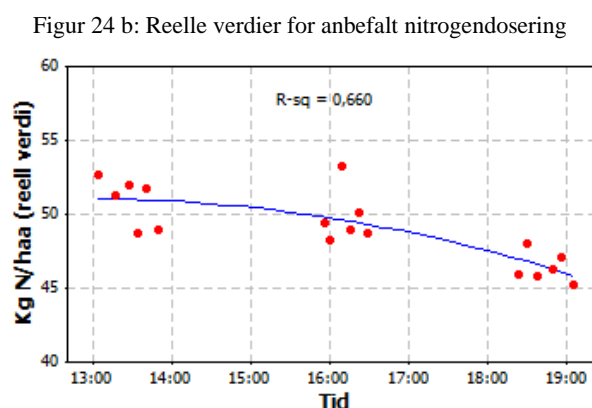
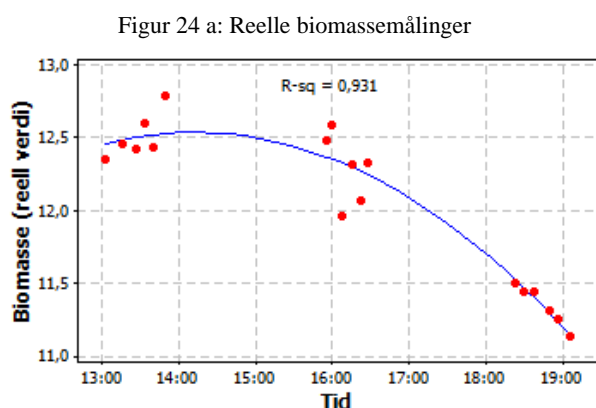


Figur 23: Figuren viser tilpassede annengradskurver for predikert endring i kg N/ha (blå kurve) og relative biomasseverdier (grønn kurve) avhengig av tid og solinnstrålingsvinkel. Endringen er kalkulert på grunnlag av regresjonsmodellenes predikerte variasjon i datasettenes fargeintensitet ved piksellokasjon 490. Endringen oppgis i prosent i forhold til intervallstørrelsene i biomassekart (4 relative biomasseverdier) og nitrogenkart (50 kg N/ha).

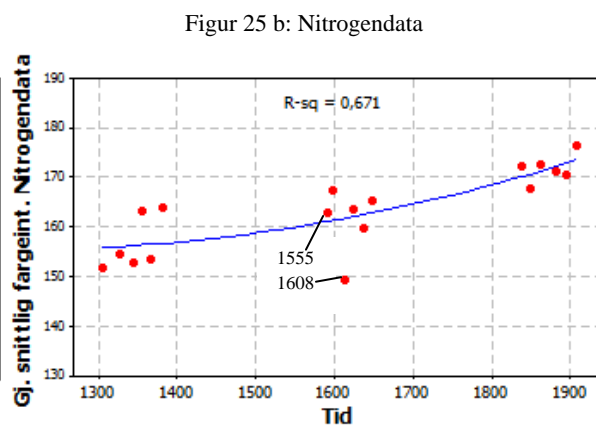
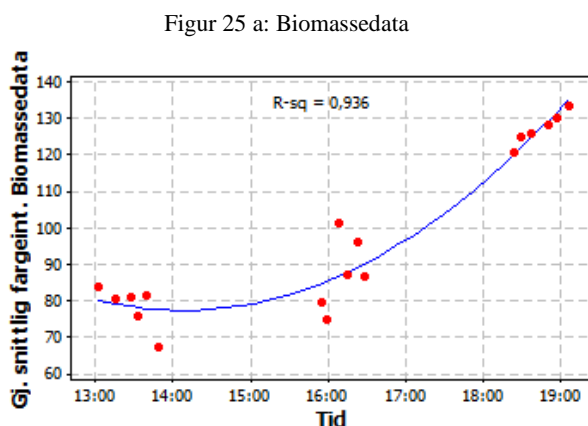
Reduksjonen i registrert biomasse per tid er betydelig større enn reduksjonen i anbefalt nitrogendose per tid, spesielt ved sene tidspunkt og lav solinnstrålingsvinkel. Fargeintensitetens totalendring i forsøksperioden, tilsvarende 1,5 relative biomasseverdier i biomassekartene og 5 kg N/ha i nitrogenkartene, utgjør henholdsvis 37,5 % og 10 % av kartenes respektive intervallstørrelser.

d) Reelle gjennomsnittsverdier for biomasse og N-applisering

I figurene 24 a og b presenteres N-sensorens *reelle* gjennomsnittsverdier for biomassemålinger og anbefalt nitrogenapplikasjon. Denne informasjonen er hentet fra kartbladene prosessert i SensorOffice (se eksempler i vedlegg 5a og 5b). Til sammenligning viser figurene 25 a og b gjennomsnittlig fargeintensitet per gjentak for henholdsvis ”Biomassedata” og ”Nitrogendata”. Disse verdiene er fremstilt av forsøkets anvendte metode.



Figur 24 a og b: Figurene viser sammenhengen mellom gjentakstidspunkt og N-sensorsystemets reelle gjennomsnittstall for biomasse (fig a) og anbefalt N-applisering (fig b).



Figur 25 a og b: Figurene viser sammenhengen mellom gjentakstidspunkt og gjennomsnittlig fargeintensitet per gjentak i ”Biomassedata” (figur a) og ”Nitrogendata” (figur b). Gjentakene med forsøkets laveste og høyeste lysinnstrålingsverdier, henholdsvis gjentak ”1555” og ”1608”, er merket av i figur b.

Fra figur 24 til 25 skifter regresjonskurvens stigningstall fra å være negativt til positivt. Dette er tilfellet ettersom synkende reelle gjennomsnittsverdier for biomasse (fig 24 a) og anbefalt nitrogendosering (fig 24 b) tilsvarer stigende fargeintensitetsverdier i ”Biomassedata” (fig 25 a) og i ”Nitrogendata” (fig 25 b). Korrelasjonen mellom figurene 24 og 25 illustrerer den anvendte metodens egnethet til å undersøke N-sensorens funksjonalitet ved ulike solinnstrålingsvinkler. Dersom metoden hadde vært lite egnet ville det gitt utslag i form av stor variasjon mellom figurene.

3.2.2 DISKUSJON

a) Kalibrering av regresjonsmodell 1 og 2

Regresjonsmodellene er kalibrert i forhold til variasjonen som eksisterer blant modellens forklaringsvariabler. Denne variasjonen avhenger av avstanden per gjentak, gjentakstidspunkt og dermed skiftende lysinnstrålingsvinkel, og varierende lysinnstråling på grunn av skiftende skydekke. Sistnevnte gjelder kun for "Biomassedata".

Avstandsvariablene gjenspeiler den naturlige variasjonen i biomasse og nitrogenbehov for forsøksfeltets spesifikke plantestand. Ettersom denne variasjonens utbredelse i feltet gav et tydelig sigmoid mønster i nitrogen- og biomassekartene (se figur 14) ble variabelens andre- og tredjegradspolynom inkludert. Denne inkluderingen responderte i en betydelig høyere determinasjonskoeffisient i begge datasettene.

Lysforholdene i forsøksrommet har først og fremst variert i form av en beregnet skiftende solinnstrålingsvinkel som gradvis endrer seg med tiden. Denne endringen er størst fra ledd 2 til ledd 3, og blant gjentakene i ledd 3. Dette indikerer at sammenhengen mellom kartenes fargeintensitetsverdier og tid er kvadratisk i stedet for lineær. Av denne grunn ble annengradspolynomet "Tid²" inkludert i modellen.

Ut over dette er det også registrert tidvis store endringer i lysinnstrålingsverdier per gjentak på grunn av driftende skyer som har skygget for solen (se vedlegg 4). Det viste seg at også denne variasjonen i lysinnstråling hadde stor innvirkning på kartenes fargeintensitet per gjentak. Dette ble oppdaget ved at "Lysinstråling" i utgangspunktet ikke var inkludert som forklaringsvariabel i regresjonsmodellen, noe som medførte et mønster i residualplottet for "Biomassedata". Mønsteret kunne granskes ettersom residualene ble gruppert etter gjentak, og det ble avdekket en tydelig sammenheng mellom gjentakenes residualer og registrerte verdier for lysinnstråling. De mest negative residualene i residualplottet tilhørte gjentakene 1349, 1555, 1559 og 1628. Da residualene for disse gjentakene ble sammenlignet med informasjon om lysinnstråling og skyforhold per gjentak (vedlegg 4) fremkom det tydelig at lav lysinnstråling på grunn av skygge bidro sterkt til de negative residualene. Av denne grunn ble forklaringsvariabelen "Lysinstråling" inkludert i regresjonsmodellen ved analyse av "Biomassedata". Inkluderingen medførte at mønsteret i residualplottet ble opphevet.

Kalibreringen av modellen med hensyn på lysinnstråling og tidsvariabler er i hovedsak gjennomført ut i fra variasjonene som fremgår i "Biomassedata". "Nitrogendata" har vist betydelig lavere respons på variasjon som avhenger av disse variablene.

b) Regresjonsmodellenes egnethet til å forklare variasjon i datasettene

Regresjonsmodell 1 og 2 er godt egnet til å forklare variasjonen i datasettene. Dette vises av høye R²-verdier på 0,877 for ”Biomassedata” og 0,851 for ”Nitrogendata”. I tillegg er residualene rimelig jevnt fordelt i residualplottene med en lav andel ”outlier”-residualer i begge datasettene.

c) Validering av regresjonsmodell 1 og 2

Det er ikke gjort forsøk på å validere regresjonsmodellene ettersom de er tilpasset dette spesifikke forsøksfeltets naturgitte forhold. Kjøring av nye gjentak med omtrentlig samme gjentakstidspunkt og lengde kunne vært utført for å skape et valideringsgrunnlag, men det er lite sannsynlig at de samme vær- og jordforholdene ville blitt observert. Ulike værforhold ville gitt ulike solinnstrålingsverdier, og andre jordforhold ville gitt en helt annen variasjon i plantestandens biomasse- og nitrogenstatus. Dette ville igjen gitt andre variasjoner i fargeintensitet avhengig av modellens variabler. Derfor ville modellen mest sannsynlig gitt helt andre analyseresultater.

En mer aktuell og mindre arbeidskrevende metode ville vært kryssvalidering mellom gjentakene i datasettene. Ved bruk av denne metoden må det forutsettes at valideringen utføres på gjentak som er utsatt for tilnærmet like meteorologiske forhold og solinnstrålingsvinkler, samtidig som gjentakene skal være tilfeldig utvalgt (Esbensen 2000). For å oppfylle denne forutsetningen vil det være mest aktuelt å validere mellom gjentak i samme ledd, slik at tidsdifferansen og dermed forskjellen i fargeintensitet mellom de tilfeldig utvalgte gjentakene blir minst mulig.

Modelleringen er problematisk først og fremst på grunn av stadig varierende skydekke i mesteparten av forsøksstidsrommet (se vedlegg 4). Denne variasjonen er uavhengig av tiden og gir betydelige variasjoner i lysinnstråling, noe som medfører ukontrollerte variasjoner i kartenes fargeintensitet. I ledd 3 er derimot gjentakene stort sett utført i klarvær og forholdene for kryssvalidering kunne derfor vært gode, men i dette leddet er variasjonen i lysinnstråling som avhenger av tid vesentlig større enn i ledd 1 og 2. Variasjonen gir tydelig utslag i form av gradvis høyere fargeintensitetsverdier per gjentak. I tillegg fremgår det av dette leddet i ”Biomassedata” at variasjon avhengig av avstand avtar etter hvert som tiden øker, (se figur 17). Dette gjelder spesielt for ledd 3. Kryssvalideringen burde derfor ikke foretas mellom gjentak innen dette leddet. I de to følgende avsnittene oppgis to rimelige årsaker for disse observerte variasjonene.

I N-sensorens brukermanual (Yara 2004) er det oppgitt at nøyaktigheten til N-sensoren avtar ved solinnstrålingsvinkler lavere enn 25°. I ledd 3 er gjentakene gjennomført ved solinnstrålingsvinkler fra henholdsvis 27,7° – 21,3°, (se vedlegg 9). Disse lave solinnstrålingsvinklene forventes derfor å være grunnen til den store variasjonen som avhenger av tid i dette leddet, og er dermed årsaken til den kvadratiske sammenhengen mellom fargeintensitet og tid i forsøksstidsrommet. Det virker også naturlig

at N-sensorens oppgitte begrensning i nøyaktighet ved lave solinnstrålingsvinkler er grunnen til den avtagende variasjonen avhengig av avstand i Ledd 3.

Pidwirny (2006) bidrar også til å forklare den store variasjonen i Ledd 3 ved å vise at en gradvis avtagende solinnstrålingsvinkel gir kvadratisk økende lysinnstrålingsflate. Lysinstrålingsverdiene per gjentak vil være omvendt proporsjonale med lysinnstrålingsflaten. Dette vises gjennom trigonometri. Sinusfunksjonen av solens innstrålingsvinkel mot horisonten angir solinnstrålingsintensitet for gitt vinkel per kvadratmeter (Pidwirny 2006). Ut i fra denne funksjonen vil solinnstrålingsverdiene avta kvadratisk avhengig av tiden. Dette kan bidra til at endringen i fargeintensitet avhengig av tid øker kvadratisk mot slutten av forsøksstidsrommet.

d) Korrelasjoner og multikolaritet mellom forklaringsvariabler

Ettersom det benyttes polynomisk regresjon i oppgavens regresjonsmodeller forventes sterke korrelasjoner mellom de aktuelle forklaringsvariablenes ulike polynomordener (Mendenhall & Sincich 2003), for eksempel mellom "Avstand", "Avstand²" og "Avstand³". Det finnes to forutsettende punkter for at disse korrelasjonene ikke skal virke forstyrrende ved estimering av parameterne i modellen (Mendenhall & Sincich 2003);

1. Antall ulike observerte verdier for variabelen X må være større enn høyeste polynomorden tilpasset av X .
2. Antall observasjoner av responsen må være større enn antall ledd i modellen.

Begge datasettene, henholdsvis "Biomassedata" og "Nitrogendata", oppfyller disse forutsetningene. Anvendelse av polynomisk regresjon er dermed uproblematisk.

Det er også forventet korrelasjon mellom tidsvariablene ("Tid" og "Tid²") og "Lysinstråling" ettersom disse variablene forklarer to sider av samme sak. Tidsvariablene forklarer variasjoner i fargeintensitet som skyldes en gradvis avtagende solinnstrålingsvinkel, mens "Lysinstråling" er inkludert i modellen for å forklare variasjon i fargeintensitet som skyldes varierende skydekke. "Lysinstråling" forklarer 2,4 % av totalvariasjonen i "Biomassedata". 0,3 % av totalvariasjonen som forklares av tidsvariablene kunne vært forklart av "Lysinstråling" dersom rekkefølgen i regresjonsmodellen hadde vært omvendt. Dette betyr at variablene korrelerer med hverandre. Mendenhall & Sincich (2003) beskriver multikolaritet som korrelasjoner mellom uavhengige forklaringsvariabler i en regresjonsmodell. Et slikt forhold kan gi misledende analyseresultater for et datasett dersom korrelasjonskoeffisienten mellom variablene er stor, altså nær 1 eller -1 (Mendenhall & Sincich 2003). Ved kalkulering av korrelasjon påvises korrelasjonskoeffisientene 0,364 og -0,374 for henholdsvis "Tid" - "Lysinstråling" og "Tid²" - "Lysinstråling". Ettersom disse verdiene ligger nærmere 0 enn -1 forventes ikke multikolaritet å utgjøre noe problem i analyseresultatene.

e) Variasjon i fargeintensitet avhengig av skiftende skyforhold

Under gjennomføring av gjentak 1555 skygget en stor sky for solen og forårsaket forsøket laveste registrerte lysinnstråling på 161 W/m². 13 minutter senere under gjennomføringen av gjentak 1608 hadde skyen drevet forbi og forsøksfeltet var eksponert for klart solskinn under hele gjentaket. Dette gav forsøket høyeste registrerte lysinnstråling på 845 W/m². På grunnlag av differansen mellom disse registreringene har "Lysinnstråling" i "Regresjonsmodell 1" predikert en endring tilsvarende 0,5 relative biomasseverdier i biomassekartene. Lysinnstrålingsvariabelen er ikke inkludert ved regresjonsanalyse av "Nitrogendata". Dermed kan ikke denne sammenhengen vises på samme måte, men ved å studere gjentakenes variasjon i fargeintensitet i figur 22 ("Nitrogendata") observeres tilsvarende variasjon som i figur 21 ("Biomassedata") mellom gjentak 1555 og 1608. Dette indikerer at også nitrogenkartene er påvirket av varierende lysinnstråling på grunn av skiftende skyforhold. Omfanget av endringen kan synliggjøres ved å se på forskjellen mellom gjentakenes gjennomsnittlige fargeintensitet. I "Nitrogendata" har gjentak 1555 og 1608 henholdsvis gjennomsnittsfargeintensitet 162,8 og 149,4 (se figur 25b). Dette gir differanse på 13,4 gråskalaverdier, tilsvarende 75 % av en klassestørrelse på 5 kg N/ha i nitrogenkartene. Dette utgjør 3,75 kg N/ha når N-sensoren er kalibrert til å operere mellom 25 og 75 kg N/ha som minimums- og maksimumsdosering.

I følge regresjonsanalysen med p-verdi = 0,000 for sammenhengen mellom "Lysinnstråling" og "Fargeintensitet" er det 99 % sannsynlighet for at endringen i registrert biomasse skyldes varierende lysinnstråling, som hovedsakelig avhenger av skiftende skyforhold. Da er det også stor sannsynlighet for at den tilsvarende endringen skyldes de samme forholdene i nitrogenkartene. Endringen kan ikke skyldes varierende solinnstrålingsvinkel ettersom gjentakene er utført med 13 minutters mellomrom, men som omtalt tidligere vil derimot lav presisjon i kjørelengde under gjentaksgjennomføringen ha en viss innvirkning på fargeintensiteten. Dette er også forventet ettersom "outlier"-residualer er påvist for gjentak 1608 i "Nitrogendata". Disse residualene kan imidlertid også skyldes høy lysinnstråling under gjentaket, noe som underbygges med at gjentakets ekstreme residualer ved regresjonsanalyse av "Biomassedata" utgikk fra "outlier"-kategorien da "Lysintensitet" ble inkludert som forklaringsvariabel.

Lysinnstråling ble registrert kun rett før gjennomføringen av gjentakene. Nøyaktigheten ved slik registrering er tilstrekkelig dersom skyforholdene ikke varierer under gjentaksgjennomføringen, men dersom forholdene er skiftende vil registreringene være lite representative for den faktiske lysinnstrålingen under gjennomføringen. Derfor ansees lysinnstrålingsverdiene for gjentak preget av skiftende skydekke som lite pålitelige. Dette er ikke tilfelle for gjentak 1555 og 1608. Ved skiftende skyforhold burde derfor lysinnstrålingen vært loggført hvert sekund. I tillegg kan lysinnstrålingsinstrumentets varierende underlag være en mulig feilkilde i lysinnstrålingsmålingene. Instrumentet ble plassert på traktorens hyttetak ved måling før hvert gjentak. Ettersom traktoren ikke hadde samme posisjon ved hver måling kan underlaget ha vært varierende, men området karakteriseres

som flatt. Optimalt burde instrumentet vært plassert på et vatret underlag for å representere faktisk innstråling per m² best mulig.

f) Variasjon i registrert biomasse og nitrogenbehov avhengig av tidspunkt

N-sensorens kalibrering mot forsøksfeltet ble foretatt i tidsrommet 12:52-12:58 ved solinnstrålingsvinkelen 53,5°, tilnærmet maksimal vinkel på 53,9° som var tilfellet 20 minutt senere (se vedlegg 4 og 10). I forhold til denne kalibreringen er det tydelig at N-sensorens registrerte nitrogen- og biomasseverdier avtar etter hvert som tiden øker og solinnstrålingsvinkelen synker.

Fargeintensiteten i nitrogenkartene ved piksellokasjon 490 og 150 endret seg lite (17,6 gråskalaverdier) fra gjentakene nærmest T_{\min} til forsøksslutt (figur 21) i forhold til i biomassekartene (61 gråskalaverdier) der forholdet ”fargeintensitet/tid” var betydelig mer kvadratisk (figur 22). Denne allometriske sammenhengen mellom anbefalt nitrogendosering og biomasse er forventet ettersom en lineær økning i nitrogentilførsel gir et avtagende merutbytte i biomasse (Bjerkholt & Widnes 1992; Gastal & Lemaire 2002; Hansen & Schjoerring 2003). Dette er lettest forståelig ved å studere fordelingen av punktene i figur 25 fra høyre mot venstre, der en relativt jevn økning i kg N/ha tilsvarer en mer avtagende økning i biomasse.

I ”Biomassedata” og ”Nitrogendata” predikeres forsøksstidsrommets fargeintensitetsminimum til å inntreffe henholdsvis klokken 14:11 og 11:38. Dette tilsvarer tidspunktene der N-sensoren registrerer høyest verdi for biomasse og nitrogenbehov (se figur 23). I teorien er det derimot forventet at disse minimumspunktene skal observeres nærmere solinnstrålingsvinkelens maksimum ettersom forsøksresultatene viser at økende solinnstrålingsvinkler gir avtagende fargeintensitetsverdier. For ”Nitrogendata” predikeres minimumspunkt langt unna maksimal solinnstrålingsvinkel antageligvis fordi kun 3,1 % av fargeintensitetens totalvariasjon forklares av tiden. Denne lave forklaringsandelen er trolig årsaken for unøyaktig prediksjon av minimumspunktet. I ”Biomassedata” ligger minimumspunktet vesentlig nærmere solinnstrålingsvinkelens maksimumspunkt. I dette datasettet forklarer også tiden mye større andel (53,2 %) av fargeintensitetsvariasjonen. Sammen med det tydelige kvadratiske forholdet mellom variablene blir derfor prediksjonen av minimumspunktet mer presis i ”Biomassedata”. Generelt for begge datasettene er lav presisjon i kjørelengde og skyforholdene variasjoner per gjentak sannsynligvis hovedgrunnen til at plasseringen av minimumspunktet avviker fra solinnstrålingsvinkelens maksimum.

Den predikerte tidsavhengige totalreduksjonen på 1,5 relative biomasseverdier er vanskelig å parallellisere mot et størrelsesomfang i sprøytevæskedose. Dette er tilfellet ettersom konvertering av registrerte biomasseverdier til anbefalt sprøytedose utføres av programmet ”Yara N-sensor Mp Konverter”. Dette programmet var ikke tilgjengelig for dette arbeidet.

g) Metodikk

Den store forskjellen i andel variasjon i ”Fargeintensitet” som forklares av tidsvariablene mellom ”Biomassedata” og ”Nitrogendata” illustreres mellom figur 17 og 18 og mellom vedlegg 6a og 6b. Forholdet ”fargeintensitet/tid” illustreres tydeligere i figurene der gjennomsnittlig fargeintensitet per gjentak benyttes (figur 24 og 25). Dette er særlig aktuelt i ”Nitrogendata” ettersom avstandsvariablene er svært dominerende i forhold til tidsvariablene. Figurene 21 og 22 viser at denne variasjonen i fargeintensitet avhengig av avstand strekker over omlag dobbelt så stort intervall i ”Nitrogendata” i forhold til ”Biomassedata”.

Størrelsen på intervallet som benyttes i nitrogenkartene kunne vært tilnærmet halvert dersom variasjonen i fargeintensitet forklart av avstand i ”Nitrogendata” hadde strukket seg over et like stort intervall som i ”Biomassedata”. En slik innskrenkning i intervallet ville gjort at fargevariasjonen avhengig av tid hadde kommet tydeligere frem i nitrogenkartene. Dette tilsier at den store variasjonen i fargeintensitet som skyldes avstand bidrar til at kun en liten variasjonsandel kan forklares av tiden. En rimelig grunn til at avstand utgjør så stor andel av variasjonen i ”Nitrogendata” kan være kalibreringsinnstillingene for minimum- og maksimumdosering av nitrogen. Disse verdiene strekker seg i dette forsøket fra 25 til 75 kg N/ha og angir arbeidsområdet til sensoren. En innskrenkning av dette intervallet ville gitt mindre variasjon i fargeintensitet avhengig av avstand, men systemets potensiale for å registrere den naturlige variasjonen i plantestanden ville imidlertid ikke blitt utnyttet i et slikt tilfelle.

Videre er det naturlig å undersøke innvirkningen av at det benyttes ulike fargeintervaller og klassestørrelser i nitrogenkartene og biomassekartene. Verdiene for disse parameterne ble fastsatt manuelt ved kartprosessering i ”Sensor Office” (se kapittel. 2.1.5). Intervallet 25 til 75 kg N/ha samsvarer med kalibreringsinnstillingene og benyttes derfor i nitrogenkartene. Intervallet er inndelt i 10 klasser som hver omfavner 5 kg N/ha. 27 kg N/ha og 70 kg N/ha er henholdsvis laveste registrerte minimumsverdi og høyeste registrerte maksimumsverdi blant nitrogenkartene. I Biomassekartene benyttes intervallet 10 – 14 (relative verdier), inndelt i 8 klasser med klassestørrelse 0,5. Laveste registrerte minimumsverdi og høyeste registrerte maksimumsverdi er henholdsvis 10,1 og 13,7. Intervallene i nitrogen- og biomassekartene omfavner altså ikke mer enn høyst nødvendig for at kartene skal fremstille all eksisterende variasjon for alle gjentakene. Bruk av andre intervaller ville gitt en mindre presis beskrivelse av variasjonen i kartene. Den ville blitt mindre tydelig ved bruk av større intervaller, og bruk av mindre intervaller hadde ført til at mye variasjon ikke ville blitt uttrykt.

Virkingen av valgt intervall i nitrogenkartene ble testet. Denne testen ble utført ved å prosessere nye kart i ”Sensor Office”. To gjentak/logfiler fra hvert ledd ble valgt ut og prosessert i tre opplag med forskjellige intervaller. Intervallene 40-60, 30-70 og 20-80 med klassestørrelse 10 ble valgt. Etter

utført bildeanalyse i henhold til beskrivelse i avsnitt 2.2.3, ble det ikke observert bemerkelsesverdige forskjeller i variasjon forklart av tidsvariablene mellom disse intervallene.

I vedlegg 10 vises klasseinndelinger med korresponderende fargeintensitetsverdier for nitrogen- og biomassekartene. Differansen mellom minimumsverdiene og maksimumsverdiene gir intervallstørrelsene i kartene. I ”Nitrogenkartene” er fargeintensitetsintervallet 10 % større enn i ”Biomassedata”. Dette forekommer ettersom variasjonen i nitrogenkartene illustreres av et annet fargeutvalg enn i biomassekartene. Forskjellen bidrar til at variasjonen i ”Fargeintensitet” i ”Nitrogendata” strekker seg over et 10 % større spenn enn i ”Biomassedata”. Denne forskjellen er lik for all variasjon i fargeintensitet og antas derfor å ikke ha betydning ved sammenligning av datasettene.

Ved å sammenligne metodens resultater for gjennomsnittlig fargeintensitet (figur 25 a og b) med N-sensorens *reelle* gjennomsnittsverdier for biomasse og N-applikasjon (figur 24 a og b) kan det konstateres at datasettene gjenspeiler de reelle målingene på en god måte. Dette vises ved den store likheten mellom reelle gjennomsnittsverdier for biomasse per tid (figur 24 a) og gjennomsnittlig fargeintensitet i ”Biomassedata” per tid (figur 25 a). Korrelasjonskoeffisientene i disse figurene viser henholdsvis 93,1 % og 93,6 %. Likheten er også stor mellom reelle gjennomsnittsverdier for nitrogendosering (figur 24 b) og gjennomsnittlig fargeintensitet i ”Nitrogendata” (figur 25 b). For disse figurene viser korrelasjonskoeffisientene henholdsvis 66 % og 67,1 %.

Metodens hensikt er å vise effekten av en gradvis skiftende solinnstrålingsvinkel på N-sensorens avleste nitrogen- og biomasseverdier. På grunnlag av den tydelige likheten mellom datasettenes gjennomsnittlige fargeintensitetsverdier og reelle nitrogen- og biomasseverdier vurderes den anvendte metode som meget god for arbeidets problemstilling.

h) Betydningen av resultatene i praktisk sammenheng

Reduksjonen i systemets registrerte verdier for plantestanden anses å ha liten betydning ved gjødsling ettersom endringen i anbefalt nitrogendose på 5 kg/ha er relativt liten i forhold til en gjennomsnittsdose på ca 50 kg/ha. Ved N-sensorbasert åkersprøyting derimot, der doseringen styres av registrerte biomasseverdier, er den konkrete innvirkningen vanskelig å anslå ettersom de relative biomasseverdiene ikke styrer sprøytemiddeldosen direkte. Det kan imidlertid tenkes at dersom dosen stilles til å variere med 50 % ved N-sensorbasert åkersprøyting, for eksempel fra 70 l/ha til 140 l/ha, vil dette forsøket predikerte endring i registrert biomasse på 37,5 % føre til en reduisering i sprøytemiddeldose på ca: $37 \% * 50 \% = 19 \%$. En slik reduisering ville i tilfellet hatt en svært negativ innvirkning på plantestandens respons av sprøytemiddelet.

3. FELTFORSØKET PÅ JARLSBERG – Resultater og diskusjon

Videre undersøkelser av solinnstrålingsvinkelens konkrete innvirkning på sprøytetildosen er nødvendig, spesielt ettersom vindforholdene for åkersprøyting ofte er mest gunstige på ettermiddag/kveld da solinnstrålingsvinkelen er lav.

4. KONKLUSJON

- av brukerundersøkelsen og feltforsøket på Jarlsberg

4.1 Konklusjon for brukerundersøkelsen

Blant ti intervjuede N-sensorbrukere, ni fra Sverige og én fra Norge, ble *reduisert risiko for legde, økt avling og jevnere proteininnhold i kornet* oppfattet som de mest fremtredende og betydningsfulle fordelene ved N-sensorbasert delgjødning av nitrogen. Dette er sett i forhold til tradisjonell gjødning med uniform dosering. Brukererfaringene gjaldt hovedsakelig for anvendelse i kulturene høsthvete og vårhvete. Effekten av disse fordelene var størst på jordsmonn som var preget av store variasjoner i nitrogenstatus, og forekom ettersom N-sensorens potensiale i slike tilfeller kunne utnyttes fullt ut. Dette forutsatte imidlertid at systemets variasjonsområde, satt av minimums- og maksimumsdose ved kalibrering, ikke ble innskrenket av brukeren. Brukerne opplevde også at verdien av N-sensorbasert gjødning var avhengig av sesongens nedbørsforhold. Lange tørkeperioder gjør ofte delgjødning unødvendig, da mye av nitrogenet ikke er tatt opp i plantene og foreligger plantetilgjengelig i jorda. Ved mye nedbør og stor plantevekst, derimot, er det stort behov for delgjødning, samt stor risiko for legde. I slike tilfeller var verdien av delgjødning ofte avgjørende for kvaliteten.

Den største utfordringen brukerne opplevde ved systemet var å anslå riktig gjødselnivå i forhold til plantestandens behov ved kalibrering av systemet. For brukere med Windowsbasert styringsterminal ble imidlertid flere kalibreringsmetoder tilgjengelige gjennom programvareoppdateringer, noe som reduserte problemet. I tillegg til denne utfordringen opplevde brukerne at tilstedeværelse av andre vekstbegrensende forhold enn nitrogenmangel, hovedsakelig tørke og vannmetning, kunne føre til feilgjødning ved at N-sensoren oppfattet dette som nitrogenunderskudd. Dette ble derimot ikke oppfattet som et problem dersom brukeren hadde kjennskap til variasjonene innen skiftene slik at systemet kunne overstyres i forhold til dette.

I følge regnskapet i denne oppgaven kan systemet tjenes inn under norske forhold etter 5 sesongers bruk ved delgjødning av ca 525 daa hvete, der kornprisen og avlingsnivået er de mest avgjørende faktorene for lønnsomheten. Dersom dette skal være tilfelle i Sverige må systemet benyttes på 810 daa i følge et regnskap utarbeidet av Läntmannen i Sverige. Forskjellen skyldes først og fremst ulike kilopriser for hvete i Norge i forhold til i Sverige. I tillegg er det forutsatt at verdien av redusert legderisiko ved N-sensorbasert gjødning er større i Norge på grunn av mer kupert terreng og dermed større legderisiko i forhold til i Sverige.

4.2 Konklusjon for feltforsøket på Jarlsberg

Endringene i N-sensorens registreringer er undersøkt i forhold til kalibrering av systemet ved tilnærmet maksimal solinnstrålingsvinkel på 53,9°, ved forsøksstart klokken 13:03. Ved forsøksslutt klokken 19:05 var solinnstrålingsvinkelen ca 22°, og ti minutter senere signaliserte N-sensoren at solinnstrålingsvinkelen var for lav til at systemet skulle fungere optimalt.

Resultatene som er opparbeidet i forhold til anvendt metode for feltforsøket på Jarlsberg, tilsier ut fra ”Regresjonsmodell 1” sine prediksjoner at N-sensorsystemets gjødselanbefalinger har avtatt med 5 kg N/ha fra klokken 13:03 til 19:05. Sensorens gjødselanbefalinger ved synkede solhøyde fulgte en annengradsfunksjon, der ca 60% av endringen forekom i siste halvdel av forsøksstidsrommet. Dette betyr at endringen øker med avtagende solinnstrålingsvinkel. Betydningen av denne gjødselreduseringen anses imidlertid for å ha liten innvirkning på plantekulturen.

For N-sensorens registreringer av plantestandens biomasseverdier, som er grunnlaget for N-sensorbasert styring av sprøytemiddeldosen, tilsier predikerte verdier at reduksjonen er betydelig større enn for nitrogendoseringen. I følge ”Regresjonsmodell 2” sine prediksjoner ble biomassen redusert med 1,5 relative biomasseverdier fra klokken 13:49 til 19:05, tilsvarende 37,5 % reduksjon innen biomassekartenes intervall fra 10 til 14 relative biomasseverdier. På samme måte som for gjødselanbefalingene fulgte også biomasseverdiene ved synkede solhøyde en annengradsfunksjon. I dette tilfellet krummet imidlertid kurven betraktelig mer, der ca 74 % av reduksjonen forekom etter klokken 16:28. Reduksjonens korresponderende endring i sprøytemiddeldose ble ikke påvist i dette arbeidet siden dataprogrammet som konverterer biomasseverdier til sprøytemiddeldose ikke var tilgjengelig. Allikevel anses reduksjonen å ha en betydelig innvirkning på sprøytemiddeldosen.

Ved videre undersøkelser vil skiftende solinnstrålingsvinklers direkte innvirkning på sprøytemiddeldosen være høyst nødvendig å studere ettersom dette ser ut til å utgjøre den største begrensningen ved N-sensorbasert åkersprøyting.

5. LITTERATUR

- Adobe. (2011). *Adobe PDF history*: Adobe Systems Incorporated. Tilgjengelig fra: <http://www.adobe.com/products/acrobat/adobepdf.html> (lest 03.05.2011).
- Andersen, J. E. (2011). *Kan gødskning etter sensor forbedre udbyttet på store husdyrbrug?* (PowerPoint presentasjon): Plantekongres 2011. Tilgjengelig fra: http://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantekongres/Filer/pl_plk_2011_shw_C4_2_Jens_Elb_aek_Andersen.pdf (lest 20.07.2011).
- AP PDF to Image Batch Convert. (2010). (*Elektronisk programvare*). 4.3 utg. @ 2000-2010 adultpdf.com Inc (red.): <http://www.adultpdf.com/products/pdftoimage/index.html>.
- Astronomical Applications Department. (2011). *Sun or Moon Altitude/Azimuth Table*. Washington DC: US Naval Observatory. Tilgjengelig fra: <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.php> (lest 20.03.2011).
- Berger, H. C. (2010). Leiekjøringspriser 2010. *Norsk Landbruk*, 12 (7).
- Bioforsk. (2011). *Gjødslingshåndbok*: Bioforsk Øst Apelsvoll. Tilgjengelig fra: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema/artikkel?p_dimension_id=19190&p_menu_id=19211&p_sub_id=19191&p_document_id=47252&p_dim2=19603 (lest 21.05.2011).
- Bjerkholt, J. T. & Widnes, O.-I. (1992). *Kurskompendium, Innstilling og bruk av handelsgjødselspredere*. ITF-notat nr. 165/92. Ås: Norges landbrukshøgskole.
- Buschmann, C., Langsdorf, G. & Lichtenthaler, H. K. (2000). Imaging of the blue, green, and red fluorescence emission of plants: an overview. *Photosynthetica*, 38: 483-491.
- Cartelat, A., Cerovic, Z. G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J. L., Barbottin, A., Jeuffroy, M. H., Gate, P., Agati, G., et al. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 91: 35-49.
- Demetriades-Shah, T. H. C., M. N. (1987). Oblique view reflectance for assessing nitrogen status of incomplete canopies. *International Journal of Remote Sensing*, 8: 1049-1055.
- Esbensen, K. (2000). *Multivariate Data Analysis - in practice*. 5. utg.
- Feiffer, A., Jasper, J., Leithold, P. & Feiffer, P. (2007). *Effects of N-Sensor based variable rate N fertilization on combine harvest*. Precision agriculture '07. Papers presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Hellas.
- Fiez, T. E., Miller, B. C. & Pan., W. L. (1994). Assessment of spatially variable nitrogen fertilizer management in winter wheat. *Journal of Production Agriculture*, 7 (1): 86-93.
- Gastal, F. & Lemaire, G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, 53: 789-799.
- Gates, D. M., Keegan, H. J., Schleter, J. C. & Weidner, V. R. (1965). Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4: 11-20.
- Google Earth. (2011). (*Elektronisk programvare*): Google.
- Greppa. (2010). *Uppslagsboken*: Greppa Naringen. Tilgjengelig fra: <http://www.greppa.nu/uppslagsboken/naringpaakern/precision/precisionsgodsling/kvave.4.1c0ae76117773233f7800018316.html> (lest 20.06.2011).
- Gruvaeus, I. (2002). Styrning av proteinhalten i høstvete och maltkorn. I: Sveriges lantbrukuniversitet, c. H. S. (red.). Skara.
- Guyot, G. (red.). (1990). *Optical properties of vegetation canopies*. Applications of Remote Sensing in Agriculture: Butterworth. 19-43 s.
- Hancock, D. W. (2006). *Spectral reflectance of canopies of rainfed and subsurface irrigated AlfaAlfa*. Ph.D. Kentucky: University of Kentucky.
- Hansen, B. (2010). *Får én av disse en N-sensor under juletreet?* Namnå: Bedre gardsdrift. Tilgjengelig fra: <http://www.gardsdrift.no/id/45717.0> (lest 29.03.2011).
- 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.

- Henriksson, M. (2007). 1000 ton med 0,2 procentenheters variation. *PrecisionsBrevet - aktuellt för optimal växtodling*, 3 (2).
- Hoel, B. O. & Uhlen, A. K. (2005). Effekt av svovel på avling og kvalitet i hvete. *Grønn kunnskap*, 9 (2).
- Huss, M. (2008). Genombrott för Yara N-Sensor! *Växtpressen*, 2 (2).
- ImageJ. (2010). (*Elektronisk programvar*). 1.43u utg.: Wayne Rasband, National Institutes of Health.
- Jordbruksaktuellt. (2011). *Marknadsinformation - Spannmål & Oljevaxter*: Agriprim AB. Tilgjengelig fra: <http://www.ja.se/?p=35569&m=3445> (lest 23.06.2011).
- Karlsson, C. & Kjellquist, T. (1999). *Sensorstyrd kvävegödsling*. Meddelande från Södra jordbruksförsöksdistriktet: Sveriges Lantbruksuniversitet, Södra jordbruksförsöksdistriktet. Tilgjengelig fra: http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/meddelande_sjfd/MSJ50/MSJ50D.HTM (lest 26.05.2011).
- Lambert, D. & Lowenberg-DeBoer, J. (2000). Precision Agriculture Profitability Review. I: Center, S.-s. M. (red.). West Lafayette: School of Agriculture, Purdue University. 132 s.
- Link, A., Jasper, J. & Reusch, S. (2005). *Suitability of different crop parameters for the determination of site-specific nitrogen fertilizer demand*. Precision Agriculture '05: Papers from the 5th European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden, s. 297-303.
- Lukina, E. V., Freeman, K. W., Wynn, K. J., Thomason, W. E., Mullen, R. W., Stone, M. L., Solie, J. B., Klatt, A. R., Johnson, G. V., Elliott, R. L. & Raun, W. R. (2001). Nitrogen fertilization optimization algorithm based on in-season estimates of yield and plant nitrogen uptake. *Journal of Plant Nutrition*, 24 (6): 885 - 898.
- Løvås, G. G. (2004). *Statistikk for Universiteter og Høgskoler*. 2. utg. Oslo: Universitetsforlaget. 489 s.
- Major, D. J., Baumeister, R., Toure´, A. & Zhao, S. (2003). Methods of measuring and characterizing the effects of stresses on leaf and canopy signatures. *ASA Special Publication*, 66: 165-175.
- Matlab. (2010). (*Elektronisk programvar*). 2010b utg.: The MathWorks Inc.
- Mellemstrand, C. (2011). *Flere er interessert i presisjonsjordbruk*. Oslo: Norsk landbruk. Tilgjengelig fra: <http://www.norsklandbruk.no/traktor-og-teknikk/2011/04/14/flere-er-interessert-i-presisjonsjordbruk.aspx> (lest 19.06.2011).
- Mendenhall, W. & Sincich, T. (2003). *A second course in statistics: Regression Analysis*. 6. utg.: Pearson Education International. 880 s.
- Minitab. (2010). (*Elektronisk programvar*). 16 utg.: Minitab inc.
- Mistele, B. (2005). *Tractor based spectral reflectance measurements using an oligo view optic to detect biomass, nitrogen content and nitrogen uptake of wheat and maize and the nitrogen nutrition index of wheat*. Ph. D. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung.
- Mistele, B. & Schmidhalter, U. (2008). Spectral measurements of the total aerial N and biomass dry weight in maize using a quadrilateral-view optic: Department of Plant Sciences, Institute of Plant Nutrition, Technical University of Munich
- Nissen, K., Gustafsson, K. & Söderström, M. (2002a). *Assessment of economical benefit of variable rate application of nitrogen, phosphorus, potassium and lime*. NJF seminar - Application of Precision Farming in practical agriculture., Skara.
- Nissen, K., Gustafsson, K. & Söderström, M. (2002b). Fem års erfarenheter av Hydro N-sensor. *Lantmännens medlemstidning Grodden*, 8 (2002).
- Nissen, K. (2006). Utrustning som behövs för at sprida eller spruta variabelt. *PrecisionsBrevet - aktuellt för optimal växtodling*, 5 (1).
- Nissen, K. (2007). Olika typer av Yara N-Sensor och olika nya funktioner i sensorerna. *PrecisionsBrevet - aktuellt för optimal växtodling*, 3 (1).
- Nissen, K. (2009). *Stor interesse for Yara N-Sensor i Sverige*. Fredericia: Yara. Tilgjengelig fra: www.yara.dk/doc/15972_Stor_svensk_interesse_for_Yara_NSensor.pdf (lest 04.06.2011).
- Nissen, K. (2011). *Exempel på gårds kalkyler för Yara N-Sensor*. Lidköping: Lantmannen. Tilgjengelig fra: <http://www.agrovast.se/precision/greppa/index-filer/slide0001.htm> (lest 06.03.2011).
- Pidwirny, M. (2006). *Fundamentals of Physical Geography*. 2. utg. Earth-Sun Relationships and Insolation. Tilgjengelig fra: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/6i.html> (lest 28.04.2011).

- Pierce, F. J. & Nowak, P. (1999). Aspects of Precision Agriculture. I: Sparks, D. (red.) b. 67 *Advances in Agronomy*, s. 1-85: Elsevier.
- Poss, J. A., Russell, W. B. & Grieve, C. M. (2006). Estimating yields of salt- and water-stressed forages with remote sensing in the visible and near infrared. *Journal of Environmental Quality*, 35: 1060–1071.
- Read, J. J., Tarpley, L., McKinion, J. M. & Reddy, K. R. (2002). Narrow-waveband reflectance ratios for remote estimation of nitrogen status in cotton. *Journal of Environmental Quality*, 31: 1442-1452.
- Reusch, S. (2003). *Optimisation of oblique-view remote measurement of crop N-uptake under changing irradiance conditions*. European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, s. 573-578: Stafford, J. and Werner A. (Ed.).
- Samnøy, E. (2008). *Praktiske erfaringer - Presisjonssprøyting med vekstregulatorer og ugrasmidler (PowerPoint presentasjon)*. Tønsberg: Jarlsberg hovedgård. Upublisert manuskript.
- Sander, K. (2004). *Kalkulatoriske avskrivninger*: Kunnskapssenteret.com. Tilgjengelig fra: <http://www.kunnskapssenteret.com/articles/3077/1/Kalkulatoriske-avskrivninger/Kalkulatoriske-avskrivninger.html> (lest 03.08.2011).
- Serrano, L., Filella, I. & Penuelas, J. (2000). Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Science*, 40: 723-731.
- Skog og landskap. (2011). *Kilden - til arealinformasjon*. Ås: Skog og landskap. Tilgjengelig fra: <http://kilden.skogoglandskap.no/map/kilden/index.jsp?theme=JORDSMONN&mapLayer=AVSETNINGSTYPER> (lest 24.02.2011).
- Statens landbruksforvaltning. (2011). Korn, mel og kraftfôrråvarer sesongen 2011-2012. Oslo: Statens landbruksforvaltning.
- Svenska Foder. (2010). *Värdefull information om spannmål*. Lidköping: Svenska Foder AB. Tilgjengelig fra: <http://www.svenskafoder.se/?p=2325&m=1185> (lest 19.06.2011).
- Söderström, M. (2002, 10-12 juni). *Systems of soil mapping in precision agriculture*. NJF seminar No. 336, Skara, Sweden.
- Todd, S. W., Hoffer, R. M. & Milchunas, D. G. (1998). Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (3): 427-438.
- Utviklingsstadier i korn*. (2007). Bioforsk FOKUS 2. Ås: Bioforsk. Tilgjengelig fra: <http://www.lr.no/media/ring/1043/ES/Utviklingsstadier%20i%20korn.pdf> (lest 03.07.2011).
- Yara. (2004). *Operation manual for the N-Sensor, version 3.00*: YARA GmbH & Co. KG. Tilgjengelig fra: http://www.sensoroffice.com/hp_home2/html/downloads/doDownload.do?market=0&file=29 (lest 03.01.2011).
- Yara. (2010a). *Hva skjer med gjødselforbruket i Europa?* Oslo: Yara. Tilgjengelig fra: http://www.yara.no/doc/34259_nitrogen-effektivitet%20i%20korn.pdf (lest 14.04.2011).
- Yara. (2010b). *Kvævegødsling med hjelp av Yara N-sensor - 10 års erfaringer fra Sverige (PowerPoint presentasjon)*. Oslo: Yara. Tilgjengelig fra: http://www.yara.no/doc/34256_Hellerud,%20Yara%20Sverige.pdf (lest 03.04.2011).
- Yara. (2010c). *Operation manual for the N-sensor, version 3.300*: YARA GmbH & Co. KG. Tilgjengelig fra: http://www.sensoroffice.com/hp_home2/html/downloads/doDownload.do?market=0&file=38 (lest 03.03.2011).
- Yara. (2010d). *Yara N-sensor - Produktblad I*: Lantbruk, L. (red.). Oslo: Yara. Tilgjengelig fra: http://www.yara.no/doc/27495_Produktblad%20N-Sensor%202010_3_NO.pdf (lest 22.05.2011).
- Yara. (2011a). *Sensor Office* [Internett basert programvare]: Yara. Tilgjengelig fra: www.sensoroffice.com (lest 20.02.2011).
- Yara. (2011b). *Yara's Precision Farming Site*: Yara. Tilgjengelig fra: http://www.sensoroffice.com/hp_home2/index.jsp (lest 15.04.2011).
- Zadoks, J. C., Chang, T.T., Konzak, C.F. (1974). A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. *Weed Research*, 14: 415-421.

6. VEDLEGG

- Vedlegg 1 - Brukerundersøkelsens spørsmålsskjema med avgitte svar fra deltagerne
- Vedlegg 2 - Zadoks skala for utviklingsstadier i korn
- Vedlegg 3 - Läntmannens lønnsomhetskalkyle
- Vedlegg 4 - Meteorologiske registreringer fra feltforsøk på Jarlsberg
- Vedlegg 5a - Biomassekart produsert i SensorOffice
- Vedlegg 5b - Anbefalt N-appliseringskart produsert i SensorOffice
- Vedlegg 6a - Bildemontasje (farge)
- Vedlegg 6b - Bildemontasje (gråskala)
- Vedlegg 7 - *"Biomassedata" (elektronisk vedlegg, se CD)*
- Vedlegg 8 - *"Nitrogendata" (elektronisk vedlegg, se CD)*
- Vedlegg 9 - Solens varierende innstrålingsvinkel 30. juni 2010
- Vedlegg 10 - Intervallstørrelser og klasseinndelinger i Biomasse- og Nitrogenkart

VEDLEGG 1:

Brukerundersøkelse N-sensor, 22. - 25. juni 2010

SIDE 1

Deltagernummer (g= anvendes ved gjødsling, s= anvendes ved åkersprøyting)	1(g,s)	2 (g)	3 (g)	4 (g)	5 (g)
BRUKSSTØRRELSER OG N-SENSORENS ANVENDELSESOMRÅDE					
Når ble N-sensoren kjøpt og brukt første gang?	1999	2005	2000	2009	2003, brukt første gang i 2004
Hvilken type sensor ble kjøpt?	Tradisjonell	Vanlig	Tradisjonell	Tradisjonell	Tradisjonell
Hva er den totale kostnaden på sensorsystemet og det nødvendige spredeutstyret?	100 000 (utløst etter leieperiode)+ 170 000 sek for spreder	130 000 + 20000 for data, hadde spreder fra før (Rauch)	100000, (løste ut etter leieperiode) hadde spreder fra før	150 000, kjører med sentrifugalspreder.	60 000 for sensoren, 150 000 for sprederen
Hva var hovedgrunnen til at du investerte i Yara N-sensor systemet?	For lavt proteininnhold i hvete.	Hadde leid entreprenør før, men ville ha kontroll over gjødslinga selv. Ville redusere legderisiko.	Til entreprenørvirksomhet i utgangspunktet, men nå brukes den stort sett kun til eget bruk. Ville redusere legdeproblemet og øke treskekapasiteten	Variierende jordforhold og varierende jorddybde til berg. Dette gir store vekstvariasjoner. N-sensoren jevner ut variasjonene	Trodde på ideen,
Hva brukes N-sensoren hovedsaklig til? Gjødsling eller sprøyting?	Gjødsling og sprøyting	Kun gjødsling	Gjødsling	Gjødsling	Gjødsling
Hvor mange hektar dyrkes på gårdsbruket?	400 ha	700 ha	1850 ha	320 ha	800 ha
Hvor mange hektar brukes N-sensoren på?	1250 ha	450 ha	700 ha	220 ha	350 ha
Hvilke vekstskulturer dyrkes?	Høstvetete, rug, havre, malkorn, raps erter og åkerbønne og timoteifrø	Høstraps, høstvetete, havre oljelin	Gressfrø, høstraps, lin og erter, høstvetete, bygg og havre	Høstvetete, lin, havre, erter og åkerbønner.	Høstvetete, høstraps, bygg, høstraps, havre, rug.
I hvilke av disse kulturrene benyttes Yara N-sensoren?	Alle	Høstvetete	Høstvetete, bygg havre	Høstvetete og havre	Høstvetete.
Hvorfor benyttes den ikke i de andre kulturrene?	0	0	0	0	Fordi hveten er den som krever mest Nitrogen. Har ikke prioritert overgjødsling i de andre kulturrene.
Hvor mange gjødslinger foretas pr sesong?	0	1	2	3	1
Ved hvilke utviklingsstadier gjødsles det med N-sensoren?	0	zad 37	31-32 til 39(flaggbladet)-45 (zadoks)	Bestokkning, stråskyting,37, flaggblad frem til 51. aksgong.	
Hva er forventet avlingsmengde i kulturrene der N-sensor benyttes?	Hvete- 8 tonn, malkorn - 5,5, havre- 5,5, vanlig rug - 6, hybridrug-8, vårraps - 2,2, gule erter - 3, åkerbønne - 3 tonn/hektar, timotei 800kg	7,5-8 tonn for hvete	Brukes bare der god avling er forventet.	7,5 tonn høstvetete, havre 6,5	7 tonn /hektar
FUNKSJONALITET OG ERVERVELSER VED BRUK AV SYSTEMET					
Har gjødselforbruket per hektar blitt redusert etter at du begynte å bruke N-sensor ved gjødsling? I så fall hvor stor mener du reduksjonen er i prosent?	10 %	5%	6%	10 %	0%
I hvor stor grad mener du avlingsmengden pr hektar har endret seg etter at du begynte å gjødsle med N-sensor? (Skala 1)	2	0	1	2	1
I hvilke åkerkulturer ser du de største endringene i avling og kvalitet ved gjødsling med N-sensor?	Høs og vårhvete, malkorn	Høstvetete og vårhvete	Høstvetete og havre (legde), malkorn	Høstvetete	Høstvetete
I hvor stor grad mener du kvaliteten har endret seg etter at du begynte å gjødsle med N-sensor? (Skala 1)	3	2	3	3	2
Synes du det er enklere å treffe riktig proteininnhold i kornet (spennmjøl) når det gjødsles med N-sensor?	JA	JA	JA	-	JA
Dersom N-sensoren benyttes ved sprøyting; har sprøytemiddelforbruket pr hektar blitt redusert etter at du begynte å bruke N-sensor ved sprøyting? I så fall hvor stor mener du reduksjonen er i prosent?		Ikke sprøyting	Ikke sprøyting	Ikke sprøytet.	Ikke sprøytet
JORDFORHOLDENES BETYDNING FOR N-SENSORENS FUNKSJONALITET					
I hvor stor grad varierer nitrogentilgangen på skiftene? (Skala 2)	3	3	2	4	2
Vurder i hvor stor grad jordforholdene på gårdsbruket preges av andre vekstbegrensende faktorer enn nitrogenunderskudd?	2	2	4	4	3
I hvor stor grad mener du dette hemmer N-sensorens funksjon?	1	3	1	1	4

Deltagernummer	6 (g)	7 (g, hg)	8 (g,s)	9 (g,hg)	10 (g)
BRUKSSTØRRELSER OG N-SENSORENS ANVENDELSESOMRÅDE					
Når ble N-sensoren kjøpt og brukt første gang?	2000	2009	2003	2000	2010
Hvilken type sensor ble kjøpt?	ALS	Tradisjonelle	Tradisjonelle	Tradisjonell	Tradisjonell
Hva er den totale kostnaden på sensorsystemet og det nødvendige spredeutstyret?	0	170 000 for systemet + spred.	160000	75000	30 000 delt på 3 stk pr år
Hva var hovedgrunnen til at du investerte i Yara N-sensor systemet?	Gi nitrogen utifra nitrogenbehovene i feltet.	Bedre fordeling av gjødselen. Har store variasjoner i N-innhold i jorda pga svingjødelse. Sparer mye gjødsel og får den på rett sted. Bedre kvalitet på kulturen og letter å treske.	Variierende jordforhold, mye legde, grasfrø krever presis gjødsling. Trengte hjelpemiddel for å treffe riktig proteininnhold i bygg.	Lantmannen ville ha en N-sensore i regionen og jeg ble utvalgt. Er opptatt av teknikken. Hadde store variasjoner på bruket pga grismøkk og dermed problemer med mye legde. N-sensoren reduserte legdeproblemet vesentlig.	Reduserer risikoen for legde og øker treskekapasiteten
Hva brukes N-sensoren hovedsaklig til? Gjødsling eller sprøyting?	Gjødsling.	Gjødsling	Gjødsling, men også sprøyting.	Gjødsling	0
Hvor mange hektar dyrkes på gårdsbruket?	780 ha	650 ha	300 ha	300 ha	300 ha
Hvor mange hektar brukes N-sensoren på?	500 ha	600 ha	-	1200 ha	175 ha
Hvilke vekstkulturer dyrkes?	Timoteifrø, rødkløver og vårraps og rug.	Høstvetete, rughvete, havre, vinterbygg, høstraps, åkerbønne og rødkløver	Høstvetete, maltkorn, grynnavre, vårraps eller høstraps, lin, grasfrø og kløver	Høstvetete og vårhvete, bygg høstraps og høstbygg	Hvøstvetete og vårhvete, vårraps.
I hvilke av disse kulturene benyttes Yara N-sensoren?	0	Alt utenom rødkløver	Alt bortsett fra lin og kløver	Høstvetete og vårhvete	Høstvetete og vårhvete
Hvorfor benyttes den ikke i de andre kulturene?	Høstvetete, høstraps, vårbbygg og havre	Rødkløver trenger ikke N-tilførsel	Har ikke tid i innhøstingsperioden	Bygg overgjødsles ikke, har ikke tid å overgjødsle mer	Mest lønnsomt i hvete, lite erfaring med bruk i raps
Hvor mange gjødslinger foretas pr sesong?	2 til 3	3 ganger i mathvete	3 ganger i høstvetete, 1 gang i maltkorn (31), 1 gang i havre (stadie 37), 1 gang i vårraps (BBCH 51)	1	Foreløpig bare 1 gang.
Ved hvilke utviklingsstadier gjødsles det med N-sensoren?	31-32, 37-39	0	23-24(busking), 31 (strekingsvekst)	32 til 39	Z31, stråstrekning
Hva er forventet avlingsmengde i kulturene der N-sensor benyttes?	7 t høstvetete, 3,5 høstraps, 6t i havre og vårbbygg	7,5 t høstvetete, 6 t havre, 6,5 rughvete, vinterbygg 6,5 t, høstraps, 3,5 t, åkerbønne 3,5	Høstvetete 6,5t, havre 5,5, maltbygg 5t, vårraps 2,4t	7 t høstvetete og 6t vårhvete	700 hvøstvetete, 600 på vårhvete
FUNKSJONALITET OG ERVERVELSER VED BRUK AV SYSTEMET					
Har gjødselforbruket per hektar blitt redusert etter at du begynte å bruke N-sensor ved gjødsling? I så fall hvor stor mener du reduksjonen er i prosent?	4%	5%	0%	7%	0%
I hvor stor grad mener du avlingsmengden pr hektar har endret seg etter at du begynte å gjødsle med N-sensor? (Skala 1)	-	1	3	2	-
I hvilke åkerkulturer ser du de største endringene i avling og kvalitet ved gjødsling med N-sensor?	Høstvetete	For lite erfaring, men tror det er i høstvetete og ryghvete.	Grasfrø, derettet kommer høstvetete og maltkorn	Høstvetete og vårhvete	-
I hvor stor grad mener du kvaliteten har endret seg etter at du begynte å gjødsle med N-sensor? (Skala 1)	-	3	4	5	-
Synes du det er enklere å treffe riktig proteininnhold i kornet (spennmjøl) når det gjødsles med N-sensor?	JA	JA	JA	JA	-
Dersom N-sensoren benyttes ved sprøyting, har sprøytemiddelforbruket pr hektar blitt redusert etter at du begynte å bruke N-sensor ved sprøyting? I så fall hvor stor mener du reduksjonen er i prosent?	sprøytet	Ikke sprøytet	20 %	Brukes ikke til sprøyting enda!	Ikke sprøyting
JORDFORHOLDENES BETYDNING FOR N-SENSORENS FUNKSJONALITET					
I hvor stor grad varierer nitrogentilgangen på skiftene? (Skala 2)	3	3	4	4	3
Vurder i hvor stor grad jordforholdene på gårdsbruket preges av andre vekstbegrensende faktorer enn nitrogenunderskudd?	3	3	4	3	2
I hvor stor grad mener du dette hemmer N-sensorens funksjon?	2	0	0	2	1

Deltagernummer	1 (g.s)	2 (g)	3 (g)	4 (g)	5 (g)
Hvilke vekstbegrensende faktorer er dette?	Tørke/vannmetning	Tørke/vannmetning	Vannmangel	Tørke og vannmetning	Tørke
På hvilken måte hemmer dette N-sensorens funksjon?	-	-	-	-	Liten fargevariasjon i åkeren ved tørke, dessuten ligger rester fra tidligere gjødsling igjen som uløste perler i åkeren.
FUNKSJONALITET UNDER VARIERENDE LYSFORHOLD					
Avhengig av solens plassering på himmelen og innstrålingsvinkelen mot N-sensoren vil man se stor variasjon i lyskvalitet i løpet av en dag. Har du erfart at denne variasjonen har innvirkning på funksjonaliteten til N-sensorsystemet?	JA	Ja	JA	NEI	JA
Hva gjøres for å korrigere for varierende lyskvalitet som nevnt ovenfor?	Har kommet bedre programvare	Kjørere ikke da	Stopper og venter	Bare kjører på.	Kalibrer på nytt
Når på dagen/døgnet synes du systemet fungerer best.	8-11 formiddag og 2-5 ettermiddag	11:00-14:00	11:00-14:00	11:00-17:00	14:00-17:00
Synes du systemet fungerer best i skyfritt, delvis skyet eller overskyet vær?	Overskyet vær	Skyfritt	Overskyet eller helt klart	-	Overskyet vær
KALIBRERING					
Hvordan kalibrerer du systemet?	N-gjødsling	Målstyrt N-gjødsling	Alle sammen	Målstyrt i høstvet, Vanlig N- gj. i havre	N-gjødsling
Bruker du N-tester (kalksalpeter meter) ved kalibrering?	JA	JA	JA	JA	JA
Hvor ofte kalibrerer du systemet?	Hvert felt	Ved hvert felt	Hvert felt	Hvert andre felt	Hvert felt
Synes du kalibreringsprosessen er enkel og rask å utføre?	5	3	3	5	5
KARTBRUK					
Hvor ofte tas det jordprøver på skiftene?	Sjeldnere	sjeldnere	sjeldnere	Hvert 8-10 år	hvert 8-10 år
Tas det også N -jordprøver? Hvor ofte?	NEI	NEI	NEI	NEI	NEI
Bruker du kartene produsert av N-sensoren i gjødselplanleggingen?	Nei	Nei	NEI	NEI	NEI
Hvor viktig synes du gjødsel- og biomassekartene er som informasjonskilde?	4	2	3	2	1
På hvilken måte benytter du deg av kartene produsert av N-sensoren?	Sammenligner de med avlingskart fra tresking	Bruker ikke	Brukes som et middel for å forutsi forventet avling.	Biomassekart brukes til å planlegge soppbekjempning.	-
Bruker du kart produsert av andre enheter (f. Eks avlingskart fra høsting) i N-sensor systemet?	JA	NEI	NEI	NEI	NEI
I så fall, hva slags kart brukes?	Avlingskart, jordprøvekart.	-	-	-	-
På hvilken måte benytter du deg av disse kartene?	Bruker jordprøvekart ved K og P gjødsling	Bruker ikke kart	Planleggingsdrift	Skal bruke jordprøvekart - til å styre K og P gjødslingen på sikt.	-
BRUKERVENNLIGHET					
Er du tilfreds med brukerstøtten rundt N-sensorsystemet? (Karakterskala 2)	4	4	5	4	4
Har N-sensorsystemet krevd mye brukerstøtte? (Karakterskala 1)	4	3	5	2	1
Er systemet lettforståelig og raskt å sette seg inn i?	5	3	2	4	5
Påvirker du doseringen manuelt etter tidligere erfaring, (manipulere kartene)? JA		JA	JA	NEI	JA
Hvor enkelt synes du det er å overstyre systemet på denne måten? (Gi karakter)	4	4	4	4	5
FEIL OG VEDLIKEHOLD					
Hvilke typer feil har du opplevd med N-sensorsystemet?	Programvaren henger seg (blitt stabilt nå). Hardware har ingen problemer med.	Bruker for lang tid på å gå over i normalmodus når biomassen er for dårlig. Synes det ikke fungerer desom det ikke benyttes kalksalpeter som N-gjødsel.	At den ikke gjør som jeg vil. Henger seg noen ganger. Er for sen til å kutte over i normalmodus ved for lite biomasse, krever ofte overstyring	Ingen	Ingen feil
Hvor ofte får du driftstans pga feil ved systemet?	3-4 ganger	1-2 ganger	1-2 ganger	Aldri	Aldri
Hvor ofte opplever du at systemet slår over til normalmodus (full dose) pga skiftende lysforhold ?	5	5	5	5	4
Er det noen andre grunner til at systemet slår over i normalmodus?	Ja	Ja	NEI	NEI	NEI

Deltagernummer	6 (g)	7 (g, hg)	8 (g,s)	9 (g,hg)	10 (g)
Hvilke vekstbegrensende faktorer er dette?	Flekkvis etablering, tørkesvakheter og vannstress	Vann, for mye og for lite noen steder. Avhengig av jordart	Svoelmangel, men dette er med i N-gjødselen.	Vann, for mye eller for lite	Fosfor
På hvilken måte hemmer dette N-sensorens funksjon?	Trenger ikke å hemme funksjonen dersom bruker er klar over forholdene. Brukes for å jevne ut forholdene, overstyres.	Den hemmer ikke funksjonen, tvert imot	Hindrer ikke N-sensorens funksjon.	Variierende utviklingstrinn pga varierende jordforhold mineraljord/myrjord på stykket gir problemer for N-sensoren.	Lite hemming
FUNKSJONALITET UNDER VARIERENDE LYSFORHOLD					
Avhengig av solens plassering på himmelen og innstrålingsvinkelen mot N-sensoren vil man se stor variasjon i lyskvalitet i løpet av en dag. Har du erfart at denne variasjonen har innvirkning på funksjonaliteten til N-sensorsystemet?	NEI for ALS	NEI	JA	JA	-
Hva gjøres for å korrigere for varierende lyskvalitet som nevnt ovenfor?	-	Slutte å kjøre	Før kalibrerte jeg på nytt.	I værste fall stopper jeg	Kjøre under riktige forhold, tidspunkt
Når på dagen/døgnet synes du systemet fungerer best.	Ingen forskjeller	Ser ingen forskjell	11.00-14.00	Ingen betydning	-
Synes du systemet fungerer best i skyfritt, delvis skyet eller overskyet vær?	Ingen forskjeller	Overskyet	Overskyet vær	Overskyet	-
KALIBRERING					
Hvordan kalibrerer du systemet?	Absolutt	75% N-styring ved store variasjoner, 25 på målstyring	N-gjødsling	N-gjødsling	N-gjødsling
Bruker du N-tester (kalksalpeter meter) ved kalibrering?	NEI: Bruker 0-N-felt og vurderer nødvendig mengde utfra dette.	JA	Ja	Nei, bruker nitrat stikke	NEI
Hvor ofte kalibrerer du systemet?	Hvert 2. felt, avhengig av behov	1 gang pr felt	1 gang pr SORT pr gjødsling	1 gang pr felt	1 gang pr felt, behovsavhengig
Synes du kalibreringsprosessen er enkel og rask å utføre?	4	5	4	5	5
KARTBRUK					
Hvor ofte tas det jordprøver på skiftene?	Hvert 8-10 år	hvert 6 år	hvert 8. - 10. år	Hvert 8-10 år	Hvert 5 år
Tas det også N-jordprøver? Hvor ofte?	NEI	NEI	Nei	NEI	NEI
Bruker du kartene produsert av N-sensoren i gjødselplanleggingen?	NEI	NEI	NEI	NEI	NEI
Hvor viktig synes du gjødsel- og biomassekartene er som informasjonskilde?	3	2	2	1	Vet ikke, men er aktuelt
På hvilken måte benytter du deg av kartene produsert av N-sensoren?	Ettersyn og kontroll	Bruker ikke,	Har brukt biomassekart som styrfil med svampsprøyting (svartprikk).	Bruker ikke kart i det hele tatt	-
Bruker du kart produsert av andre enheter (f. Eks avlingskart fra høsting) i N-sensor systemet?	NEI	NEI	JA	NEI	NEI
I så fall, hva slags kart brukes?	-	-	Avlingskart	-	-
På hvilken måte benytter du deg av disse kartene?	Oversikt, ettersyn og kontroll, finne problem med skiftene	-	Sammenligne jordprøvekart med avlingskart, forutsi P og K behov og trekke vav det som er tatt bort med tresking.	-	-
BRUKERVENNLIGHET					
Er du tilfreds med brukerstøtten rundt N-sensorsystemet? (Karakterskala 2)	5	5	5	5	5
Har N-sensorsystemet krevd mye brukerstøtte? (Karakterskala 1)	4	3	4	3	5
Er systemet lettforståelig og raskt å sette seg inn i?	5	5	3	4	5
Påvirker du doseringen manuelt etter tidligere erfaring, (manipulere kartene)? NEI	NEI	JA	JA, 2	NEI	JA, ved behov
Hvor enkelt synes du det er å overstyre systemet på denne måten? (Gi karakter)	4	5	5	-	5
FEIL OG VEDLIKEHOLD					
Hvilke typer feil har du opplevd med N-sensorsystemet?	-	Strømforsyningen har feilet. Viser høy biomasse ved mye ugress og øker gjødslingsmengden her.	Henger seg innimellom (alt som kan skje på en data skjer også her)	Feilprogrammering i blå boks krevde ny sensor, har også fått nye spektrometer pga feil vinkel	-
Hvor ofte får du driftstans pga feil ved systemet?	0	1-2 ganger per sesong	1-2 ganger	Kun 1 gang	1 gang, GPS har stoppet
Hvor ofte opplever du at systemet slår over til normalmodus (full dose) pga skiftende lysforhold ?	aldri, als	1	1	1	-
Er det noen andre grunner til at systemet slår over i normalmodus?	-	JA	NEI	Nei	NEI

Deltagernummer	1 (g,s)	2 (g)	3 (g)	4 (g)	5 (g)
Hvis JA; hvilke grunner?	Softwarefeil, biomassen er for liten	Teknisk feil ved spredning	-	-	-
Hvordan vedlikeholder du N-sensorsystemet?	Holde inne om vinteren, pusse linsener 1 gang i uka etter behov oppdatere software.	Pusses rent før hver sesong, lagres inne når det ikke brukes.	Softwareoppdateringer, noe pussing av linsener. Oppdateringene kommer minst 1 gang i året.	Softwareoppdatering ca 1 gang i året, pusser av linsene hver bruksdag.	Softwareoppdateringer
Hvor ofte foretar du slikt vedlikehold?	-	-	-	-	-
ETTERTANKE					
Har N-sensor systemet fungert som antatt?	JA	Ja	JA	JA	JA
Hva er du minst fornøyd med?	Programvaren (Javaprogrammets kommunikasjon med GPS, sensor og spredning. Krever omstart.	Usikkert hvilket gjødselnivå man skal legge seg på. Dette ble lettere med målstyrt N-gjødsling.	Knotete å forstå, men fungerer som oftest som det skal. Lett å gjøre bruksfeil av denne grunn.	Vanskelig å kople til andre enheter enn gjødselspreder.	Å finne riktig snittdose ved kalibreringen. Selvfølgelig er lett, men om doseringen blir riktig er vanskelig å vite sikkert.
Hva er du mest fornøyd med?	Jevnere og høyere kvalitet på avling, jevnere avling, sparer miljøet.. Spesielt ved bruk av husdyrgjødsel i grunnjødslingen. Må la systemet være uten begrensninger for å få best effekt.	Minsker risikoen for legde.	Nitrogenet havner på rett sted, minsker legde. Mer homogen avling.	Økt avling, redusert gjødselmengde.. Spennende!	Høyere kvalitet på avlingen. Mindre legde. Kan ikke brukes ved tørkeår
Føler du at investeringen i N-sensor systemet har forsvart seg økonomisk? Begrunn.	JA, absolutt. Jeg kjører som entreprenør i tillegg, men selv om jeg ikke hadde gjort dette hadde jeg tjent penger på bruken.	Ja, utnytter Nitrogenet, som er blitt altfor dyrt, mye bedre.	Ja, absolutt, men kanskje mest pga leiekjøring.	JA, spesielt hvis jeg får utnyttet hele potensialet.	Ja, men tørkeårene gjør det mindre lønnsomt.
Generelle kommentarer	-	-	Dersom systemet skal utnyttes på en god måte krever det at brukeren forstår funksjonen av systemet godt. Det kreves også at systemet får gå fritt uten store innskrenkninger i maks og min doseringer. Brukeren må være en god agronom og teknisk abnlagt.	Vil bruke jordprøvekart til styre såmaskin. Må få brukt hele potensialet.	Vanskelig å finne riktig gjennomsnittsdose. Interessant å være med på teknikkutviklingen. Avlingen burde øke mer.

Deltagernummer	6 (g)	7 (g, hg)	8 (g,s)	9 (g, hg)	10 (g)
Hvis JA; hvilke grunner?	-	Kontaktvakkkel til sprederen	-	-	-
Hvordan vedlikeholder du N-sensorsystemet?	Ingen vedlikehold	Ingen vedlikehold, spraye kontaktene med kontaktspray.	Oppdateringer, pusser linser 1 gang om dagen ved bruk	Lagring innomhus, pussing av linser	Ikkeno
Hvor ofte foretar du slikt vedlikehold?	-	1 gang pr sesong	-	2 ganger pr sesong	-
ETTERTANKE					
Har N-sensor systemet fungert som antatt?	JA	JA	JA	JA	JA
Hva er du minst fornøyd med?	Ingenting	Kjørte 200 hektar i vår uten at systemet fungerte, fant ikke feilen. Nissen fant ut at det var ledningsvakkkel. Utenom dette har feil ordnet seg ved restart. Taper kontakt med gps og i åkerkanter ved skog.	Ingen mulighete for å stille inn hvilke type sort som skal gjødsles i høstvetet. Vanskelig å finne riktig snittdose, riktig kalibrering	-	-
Hva er du mest fornøyd med?	Muligheten til å variere nitrogenet, brukervennligheten	Lett å bruke og forstå. Varierer gjødslingmengden på annet hvis enn hva brukeren skulle kunne greie ut ifra eget øye. N-sensoren. registrerer alle variasjoner.	Jevnere avling og kvalitet. Anvender gjødselen på en mer effektiv måte.	Funksjonen, og resultatet jeg får. settet den gjødsler på	Når man følger med så ser du at systemet registrerer riktig og det spres riktig mengde.
Føler du at investeringen i N-sensor systemet har forsvart seg økonomisk? Begrunn.	-	JA, tror vi får høyere avling men ikke særlig mindre gjødselforbruk. Det er dette vi tjener inn investeringen på.	Ja, absolutt. Anslår 5 sessorers bruk vil tjene inn investeringen	JA, absolutt, fremfor alt som entreprenør. Kreves å drive som entreprenør for å tjene den inn, 200 ha er nesten ikke nok for å tjene den inn, selv om den kostet bare 75000	Ja, tror det. Redusere legde og øke kapasitet på treskinga er viktig, og tror det tjenes inn mest her.
Generelle kommentarer		Mindre avrenning. Myndighetene bidrar med rundt 42 845 (%sats) støtte ved innkjøp. Følges bra å kunne få ut gjødselen på rett sted ved hjelp av teknikken, Godt for både miljø og økonomi. Kreves store arealer for å tjene inn igjen investeringen. Ujevne jorder gir større fortjeneste. Bruk av svinggjødsel gir store N-variasjoner i jorda noe som rettes opp igjen av N-sensoren.	Miljømessige hensyn er et stort pluss. Ved kjøp i dag gis det rundt 30 % bidrag fra statene pga miljøbesparinger. Komptabel med det meste av nytt utstyr. Bruker ikke ISOBUS fordi den ikke er så universal som ønsket, fungerer ikke som tenkt.	Stor miljømessig gevinst, finnes bare gevinster ved systemet, men man må ha interesse og erfaring som bonde for å få ting til å fungerer og få godt resultat. Er bare et hjelpemiddel. Det er KALBRERINGEN som er den store utfordringen og som resultatet beror på, (sette gjennomsnittdose) Kjører ca 15 hektar i timen i snitt	Begrense legdeproblemet. Gjødsle på rett sted. Har lite erfaring, brukt det bare 1 sesong.

VEDLEGG 2: Zadoks skala for utviklingsstadier i korn. Figuren er hentet fra Bioforsk

(Utviklingsstadier i korn 2007)

- 11 Første blad folder seg ut
- 12 Andre blad folder seg ut

- 21 Hovedskudd og ett buskingsskudd
- 22 Hovedskudd og to buskingsskudd

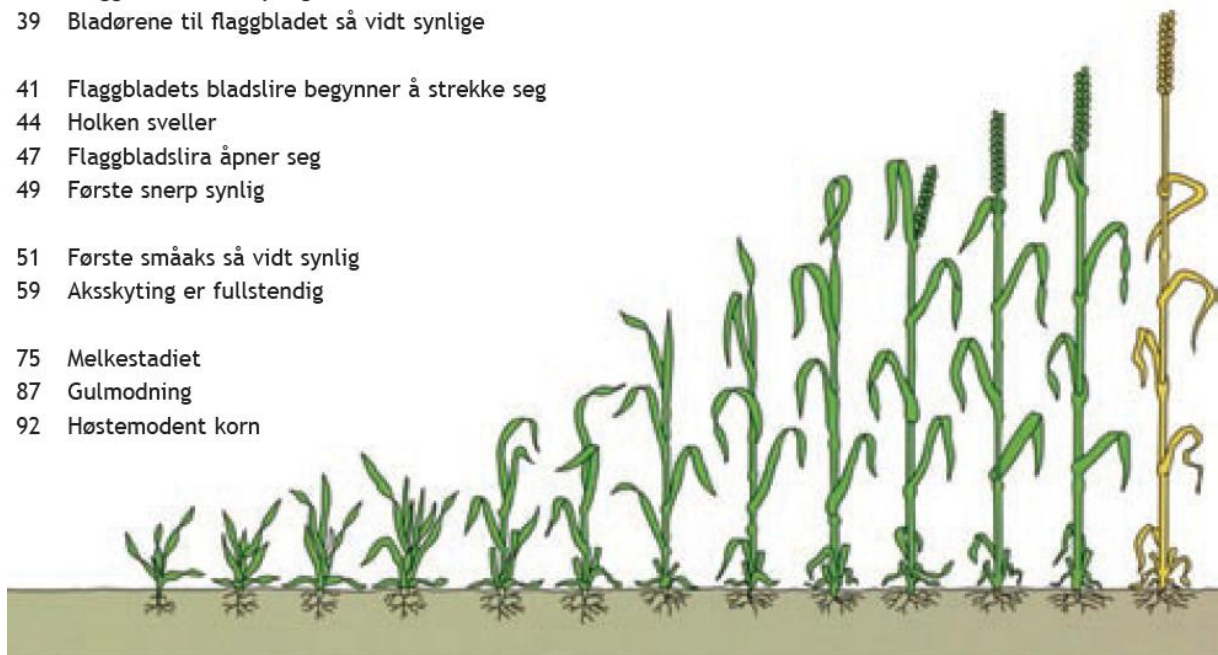
- 30 Strekningsvekst før synlig leddknote
- 31 1. leddknote synlig
- 32 2. leddknote synlig

- 37 Flaggblad så vidt synlig
- 39 Bladørene til flaggbladet så vidt syntlige

- 41 Flaggbladets bladslire begynner å strekke seg
- 44 Holken sveller
- 47 Flaggbladslira åpner seg
- 49 Første snerp synlig

- 51 Første småaks så vidt synlig
- 59 Aksskyting er fullstendig

- 75 Melkestadiet
- 87 Gulmodning
- 92 Høstemodent korn



Zadoks/ BBCH	Busking			Strekning				Skyting		Blomstring		Modning	
	21	25	29	30	31	32	37	39	49	51	59	61-69	71-92

VEDLEGG 3: Länsmannens regnskap över N-sensorens lönsomhet ved forskjellige arealstørrelser. (Nissen 2011)

Eksempel på gårds kalkyler for Yara N-Sensor					
Årlig anvendning, ha	200	500	1000		
Avskrivningsstid, år	5	5	5		
				Din kalkyl	
				81	hektar
				5	år
Intäkter					
Skördeøkning	1.20 kr				
Mindre liggsæd					
Jæmnere kvalitet					
Økad trøskkapacitet					
Behovsanpassad P og K gödsling					
Information om fallet					
Øvrigt					
Summa intäkter/ha	312	312	312		
				618 kr/ha	
Kostnader					
Kapitalkostnad					
N-Sensor og N-tester	176 500	177	71	35	
GPS-utrustning (enkel USB-GPS ingår)	0	0	0	0	
Räntekostnad	6 %	26	11	5	
N-Sensor Support Service, underhåll	7 500	38	15	8	
	2 000	10	4	2	
Summa kostnader/ha	250	100	50		
				618 kr/ha	
				436 kr/ha	
				0 kr/ha	
				65 kr/ha	
				93 kr/ha	
				25 kr/ha	
Vinst kr/ha	62	212	262		
Vinst kr/gård	12 305	105 905	261 905		
				0 kr/ha	
				-37 kr/gård	

Skördeøkningen er 3,1% i medeltal i 186 försök. Dessa försök gäller enbart kompletteringsgödsling. 260 kg merskörd * 1,2 = 312 kr/ha

Minskad risk for liggsæd
Undvikta liggsæd var 5e år på 30 % av fallet = 146 kr/ha
Skördeminskning: 10 % = 86 kr
Økede trøskkostnader: 50 % minskad trøskkapacitet = 60kr
Minskning av kårnkvalitet: ?? Kr
Økede tørkningskostnader: ?? kr

Trøskkapaciteten øker med 12-20% i 3 Tyska försök 2001-2002. Kostnad for trøskning 1000 kr/ha, 15 % økning av trøskkapacitet = 150 kr/ha

Førsøken viser at rätt fosfor/giva vid höstgödsling i höstvetete på klass II ger 400kg skördeøkning/ha

Kvævekartan visa på grödans N-upptag. Biomasskartan ger en god bild av skördevariationen och liknar ofta skördekartan. Biomasskartan går även att göra om till styrfil for svampbekämpning.

Priset for den blå standard sensorn är 176500kr
Priset for den vita Yara N-SensorALS är 327500kr

N-Sensor supporten med användarlens, mjukvaruuppdateringer och fri telefonsupport är obligatorisk. Den ingår första året och kostar år två 10000kr därefter sjunker den till 5000kr det femte året.

Din kalkyl

81 hektar

5 år

312 kr/ha

146 kr/ha

0-150 kr/ha

150 kr/ha

0-2500 kr/ha

10 kr/ha

618 kr/ha

436 kr/ha

0 kr/ha

65 kr/ha

93 kr/ha

25 kr/ha

618 kr/ha

0 kr/ha

-37 kr/gård

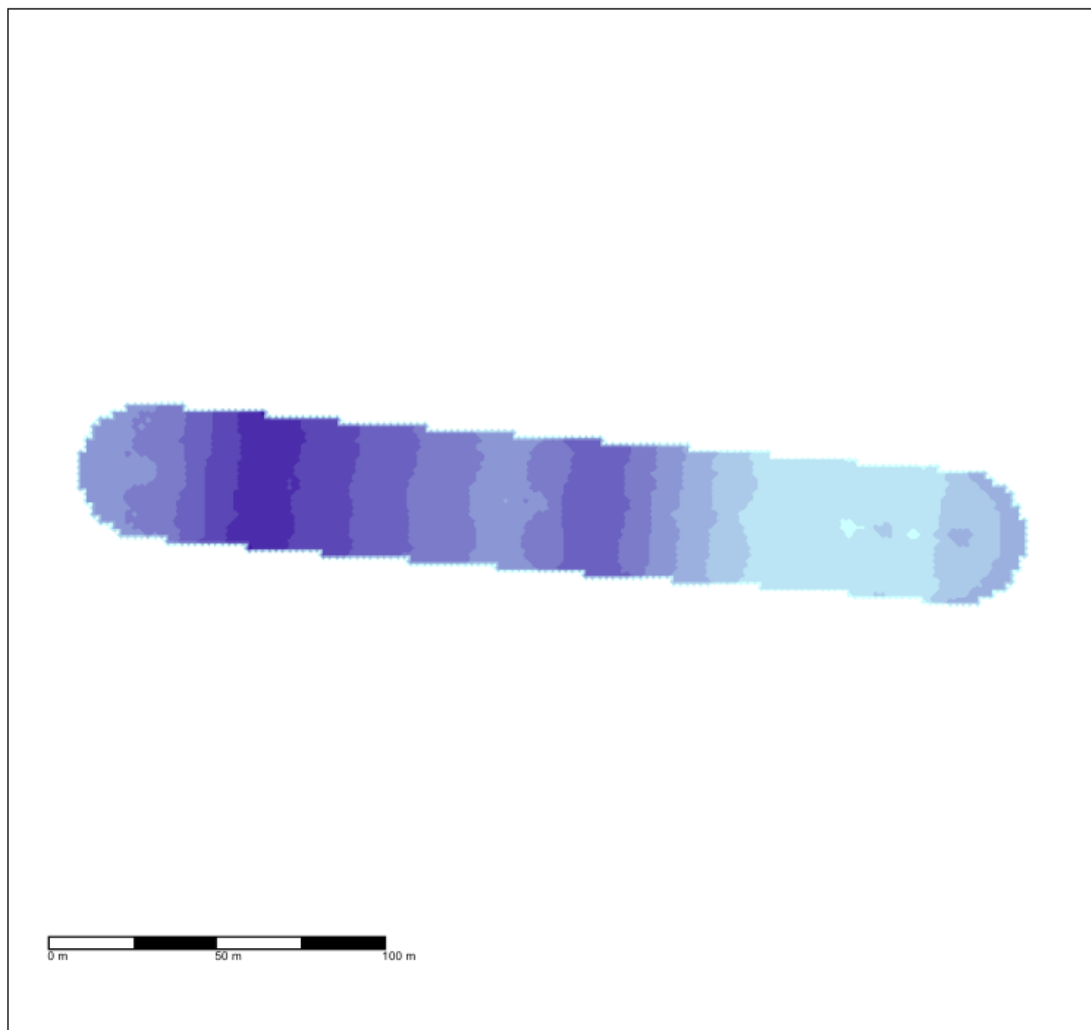
VEDLEGG 4: Meteorologiske registreringer fra feltforsøk på Jarlsberg hovedgård

Retning Øst		1			2			3		
Leidd										
Gjentak nr./navn	1303	1316	1333	1555	1608	1622	1823	1837	1856	1841
Klokkeslett start	13:03	13:16	13:33	15:55	16:08	16:22	18:23	18:37	18:56	18:41
Slutt	13:10	13:26	13:38	15:58	16:12	16:27	18:28	18:40	19:00	18:45
Temperatur	20	20	20	26	26	26	26	26	24	24
Vind m/s	0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 1	0,5 - 1,5	0,5 - 1,5	0,5 - 3	0,5 - 3	Vindstille	Vindstille
Vindretning	Skiftende	Skiftende	Skiftende	Vest	Vest	Nord	Nord	Nord	Vindstille	Vindstille
Skydekke	Skiftende	Skiftende	Skiftende	Dekkende sky	Klart	Skiftende	Klart	99% klart	Klart	99% klart
Lysinnstråling (W/m ²)	617	577	322	161	845	805-503	516	436	281	322
Merknader									Biomassesignal	Biomassesignal

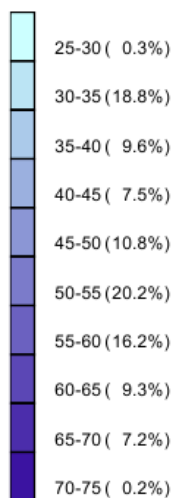
Retning Vest		1			2			3		
Leidd										
Gjentak	1327	1340	1349	1559	1615	1628	1829	1849	1905	1915
Klokkeslett start	13:27	13:40	13:49	15:59	16:15	16:28	18:29	18:49	19:05	19:15
Slutt	13:32	13:45	13:54	16:03	16:17	16:34	18:33	18:55	19:08	19:20
Temperatur	20	20	20	25,5	26	26	26	26	24	24
Vind m/s	0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 - 1	0,96	0,5 - 2,5	0,5 - 3	Vindstille	Vindstille	Vindstille
Vindretning	Øst	Øst	Øst	Vest	Skiftende	Nord	Nord	Vindstille	Vindstille	Vindstille
Skydekke	Klart vær	Klart (skyngevisje 20 m)	Skiftende, stor sky	Skiftende	Skiftende	Skiftende	Klart	Klart	Klart	Klart
Lysinnstråling (W/m ²)	637	617	476-201	201-671	805-402	234-604	436	315	255	241
Merknader									Biomassesignal	Solinnstr. signal

Retning Øst	
Kalibrering	
Klokkeslett start	12:52
Slutt	12:58
Temperatur	20,5
Vind m/s	2 m/s
Vindretning	Skiftende
Skydekke	Skiftende
Lysinnstråling (W/m ²)	228
Kuppering	Flatt
Lengde i m	300

VEDLEGG 5a: Kartblad for anbefalt Nitrogenapplisering prosessert i SensorOffice



kg N/ha



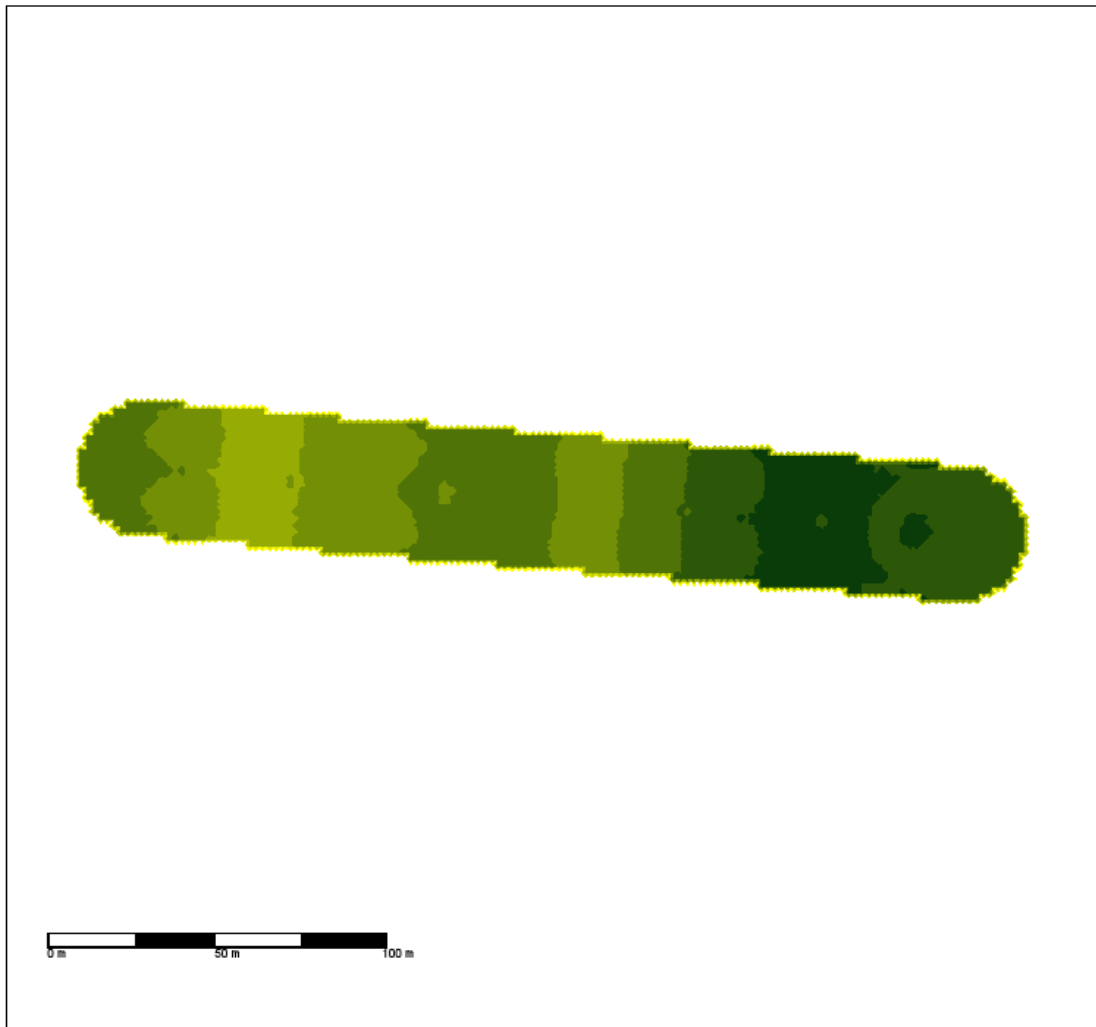
N-Sensor Nitrogen Recommendation Mapping

Field Name	Mark 1-6		
Field Size	approx. 0.5 ha		
Calibration	Triticale	EC	39
Date of Application Measurement	June 1, 2010		

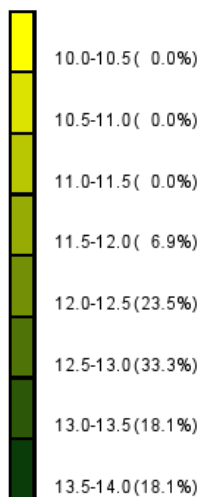
File	V-1349-3.log
Date	April 18, 2011
Minimum	29 kg N/ha
Maximum	69 kg N/ha
Mean	48.9 kg N/ha
Standard deviation	10.9 kg N/ha
Total amount of fertiliser used	107 kg
N in fertiliser	24.5 %



VEDLEGG 5b: Kartblad for biomasse prosessert i SensorOffice.



Biomass



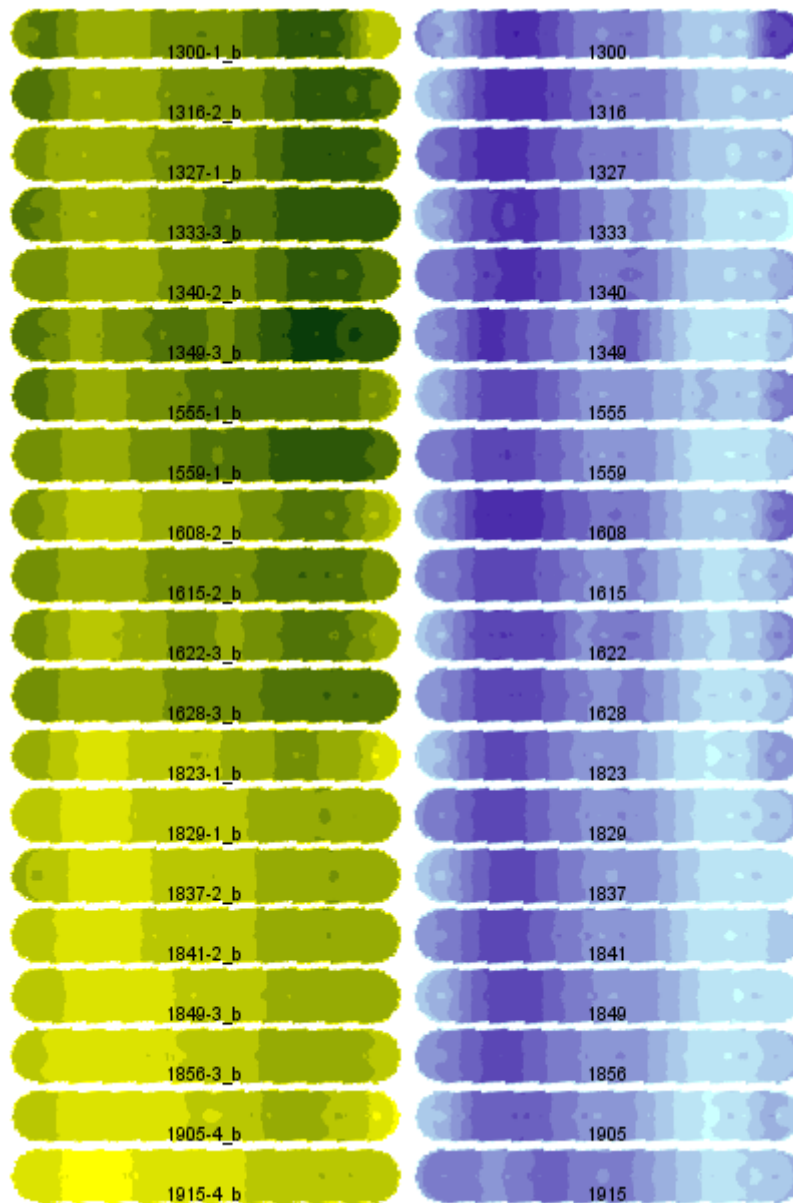
N-Sensor Relative Biomass Mapping

Field Name	Mark 1-6		
Field Size	approx. 0.54 ha		
Calibration	Triticale	EC	39
Date of Application Measurement	June 1, 2010		

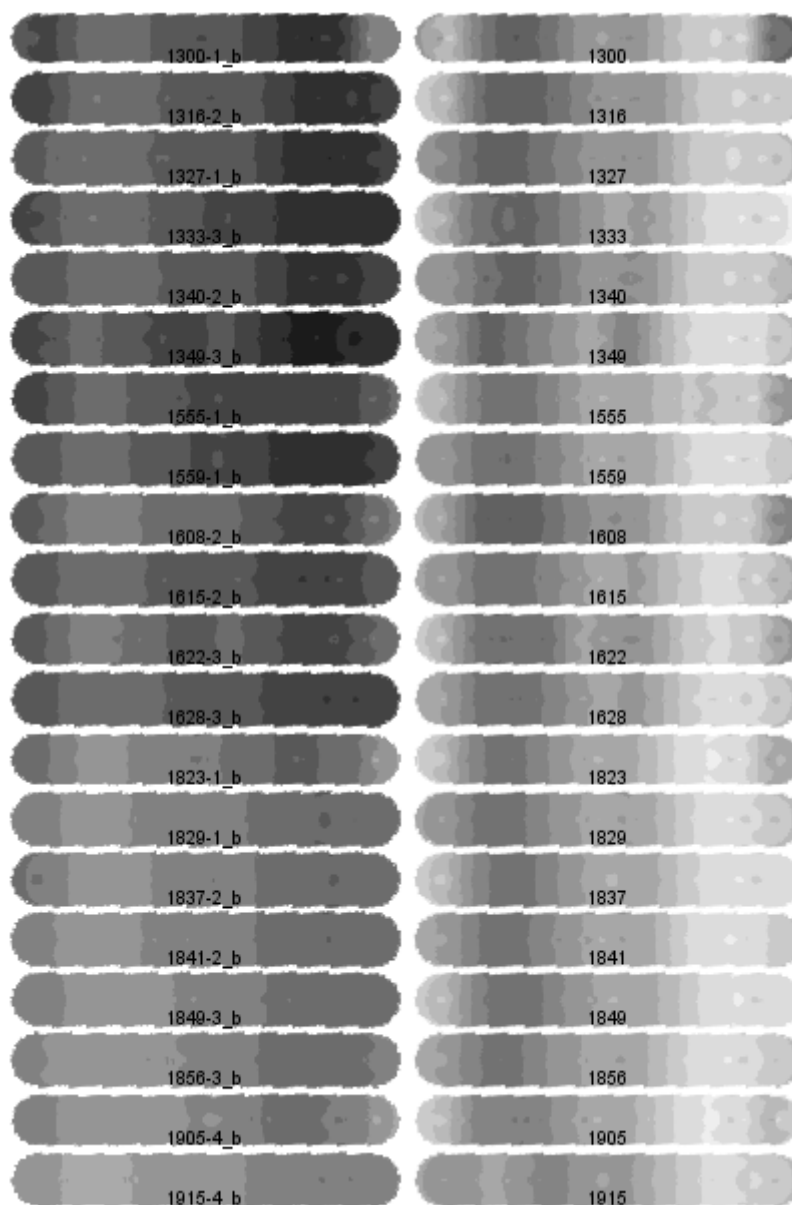
File	V-1349-3.log
Date	February 3, 2011
Minimum	11.8
Maximum	13.7
Mean	12.79
Standard deviation	0.53



VEDLEGG 6a: Vedlegget viser bildemontasjer der alle kartene er stablet over hverandre i kronologisk rekkefølge fra tidspunkt 13:00 til 19:15, fordelt på 3 ledd. Venstre stabel inneholder biomassekart. Høyre stabel inneholder nitrogenkart.



VEDLEGG 6b: Vedlegget viser de samme bildemontasjene som i vedlegg 3a, men i dette tilfellet vises de opprinnelige fargenes tilsvarende gråskalaverdier. Oppgavens analyser baserer seg på gråskalverdier som er ekstrahert fra anlagte lengdesnitt i disse kartene



VEDLEGG 9 – SOLENS VARIERENDE
INNSTRÅLINGSVINKEL 30. JUNI 2010

Tabellen viser solens varierende innstrålingsvinkel mellom klokken 09:00 og 20:00. Høydevinkelen ("Altitude") viser hvor høyt solen står på himmelen i forhold til horisonten. Lengdevinkelen ("Azimuth") viser solens vinkel langs med horisonten i forhold til kompassretningen. Retning nord, øst, sør og vest tilsvarer henholdsvis 0°, 90°, 180° og 270°. (Astronomical Applications Department 2011)

Solens høydevinkel ("Altitude") når dagens maksimumspunkt i Ledd 1 klokken 13:20. Ved dette tidspunktet har solen høydevinkelen 53,9 °. Vinkelen blir gradvis mindre med tiden. I Ledd 2 klokken 16:10 er vinkelen 43,4 ° og ved siste gjentak i Ledd 3 er høydevinkelen 20,1 °.

Tabellen er hentet fra Astronomical Applications Department (Astronomical Applications Department 2011)

JARLSBERG WGS-84: E 10 23, N 59 17		Altitude	Azimuth (E of N)
h	m	o	o
Altitude and Azimuth of the Sun Jun 30, 2010 Zone: 2h East of Greenwich			
09:00		32.2	98.6
09:10		33.5	100.9
09:20		34.7	103.2
09:30		36.0	105.6
09:40		37.2	108.0
09:50		38.4	110.5
10:00		39.6	113.0
10:10		40.7	115.6
10:20		41.9	118.3
10:30		43.0	121.0
10:40		44.1	123.8
10:50		45.1	126.7
11:00		46.1	129.6
11:10		47.1	132.7
11:20		48.0	135.8
11:30		48.8	139.0
11:40		49.7	142.3
11:50		50.4	145.7
12:00		51.1	149.1
12:10		51.7	152.7
12:20		52.3	156.3
12:30		52.7	160.0
12:40		53.1	163.7
12:50		53.4	167.6
13:00		53.7	171.4
13:10		53.8	175.3
13:20		53.9	179.2
13:30	Ledd 1	53.9	183.1
13:40		53.8	187.0
13:50		53.6	190.8
14:00		53.3	194.6
14:10		52.9	198.4
14:20		52.5	202.1
14:30		51.9	205.8
14:40		51.4	209.4
14:50		50.7	212.9
15:00		50.0	216.3
15:10		49.2	219.6
15:20		48.3	222.9
15:30		47.4	226.0
15:40		46.5	229.1
15:50		45.5	232.1
16:00		44.5	235.0
16:10	Ledd 2	43.4	237.8
16:20		42.3	240.6
16:30		41.2	243.3
16:40		40.1	245.9
16:50		38.9	248.4
17:00		37.7	250.9
17:10		36.5	253.4
17:20		35.2	255.8
17:30		34.0	258.1
17:40		32.7	260.4
17:50		31.5	262.7
18:00		30.2	264.9
18:10		28.9	267.1
18:20		27.7	269.3
18:30		26.4	271.4
18:40		25.1	273.6
18:50	Ledd 3	23.8	275.7
19:00		22.6	277.7
19:10		21.3	279.8
19:20		20.1	281.9
19:30		18.8	283.9
19:40		17.6	286.0
19:50		16.4	288.0
20:00		15.2	290.0

VEDLEGG 10: Vedlegget viser tabell over klasseinndelinger og intervallstørrelser i nitrogen- og biomassekartene med korresponderende fargeintensitetsverdier (gråskalaverdier).

	Fargeintensitet Nitrogenkart		Kg N/haa	Fargeintensitet Biomassekart	Biomasseverdi (relative tall)
1	238	25-30		170	10,0-10,5
2	220	30-35		149	10,5-11,0
3	202	35-40		129	11,0-11,5
4	185	40-45		108	11,5-12,0
5	167	45-50		88	12,0-12,5
6	149	50-55		67	12,5-13,0
7	132	55-60		47	13,0-13,5
8	114	60-65		27	13,5-14,0
9	97	65-70			
10	80	70-75			
Intervallstr.	158	50		143	4
Klassestr.	17,5	5		20,5	0,5