

# Utveckling av on-line proteinsensor för skördetröskor

*Development of on-line protein sensors  
for combine harvesters*

Per-Anders Algerbo  
Lars Thylén

© **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2000**  
Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet  
att utan skriftligt tillstånd från copyrightinnehavaren  
helt eller delvis mångfaldiga detta arbete.



# Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning .....	7
Summary.....	7
Bakgrund.....	7
Proteinbestämning.....	8
Variationer i proteininnehåll .....	8
Mål.....	8
Material och metoder .....	9
NIT-instrument.....	9
Stationär test av NIT-instrumentet .....	9
Anpassning av NIT-instrument för on-line-mätning.....	9
Utvärdering av NIT-instrumentet vid on-line-mätning .....	11
Resultat .....	12
Stationärt test av NIT-instrumentet.....	12
Provtagningsystemets mekaniska funktion.....	13
Testmätning av proteinhalt i provtagningsystemet.....	14
Test av NIT-sensorn utan flöde .....	14
Test av NIT-sensorn med flöde genom sensorn .....	15
Test av NIT-sensorn med spannmål från elevatoren.....	16
Diskussion.....	16



## Förord

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik har i samarbete med tillverkare av NIT-sensorer studerat möjligheten att mäta proteinhalten i spannmål redan i fält.

Föreliggande rapport redovisar resultat från tester i laboratoriemiljö. Projektet har genomförts av Per-Anders Algerbo och Lars Thylén vid JTI. Staffan Johansson, JTI, har svarat för programmeringen av PLC medan Lars-Göran Algerbo svarat för programmeringen av PSION handdator.

Projektet har finansierats av Nutek.

Till alla som bidragit till projektets genomförande framför JTI ett varmt tack.

Ultuna, Uppsala i oktober 2000

*Lennart Nelson*

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik



## Sammanfattning

Studier har visat att kvaliteten på spannmål är mycket ojämn inom fält. En sortering av den odlade grödan skulle kunna medföra att värdet på produkten ökar. För att möjliggöra detta krävs utrustning för en snabb mätning av grödans kvalitet med tillräckligt hög noggrannhet.

Målet med detta projekt har dels varit att bygga ett provtagningssystem för spannmål kring en NIT-sensor (Near Infrared Transmittance), dels att undersöka hur väl systemet fungerar i lantbruksmiljö med tanke på vibrationer och damm.

NIT-sensorn byggdes in i ett provtagningssystem avsett att monteras på en kedje-elevator. Provtagningsystemet styrdes av en PLC, och en fältdator lagrade insamlad information. NIT-sensors funktion utvärderades under olika driftsförhållanden.

Förstudien visar att det är möjligt att montera en NIT-sensor på en skördetröska och erhålla relevant mätdata, både avseende mätnoggrannhet och mät hastighet. Faktorer som är viktiga att beakta är bland annat att NIT-sensorn inte skall släppa in ljus samt att NIT-sensorn monteras fritt från vibrationer.

## Summary

Field studies have proven large variations in grain quality within fields. By sorting the grain the value of the crop can increase. To be able to sort the grain by quality a rapid and accurate sensing system is required.

The aims of this project were to develop a sampling system for a NIT-sensor (Near Infrared Transmittance), and to evaluate how the system works in agricultural environment regarding vibrations and dust.

The NIT-sensor was built into a sampling device and installed on a grain elevator. The sampling device was controlled by a PLC, and the collected data was stored on a field computer. The function of the NIT-sensor was evaluated during different conditions.

The study shows that it is possible to fit a NIT-sensor on a combine harvester and achieve relevant accuracy when measuring protein content in small grain. Factors that are important to consider when fitting a NIT-sensor on a combine harvester is to eliminate the effect of external light, and to fit the NIT-sensor free from vibrations.

## Bakgrund

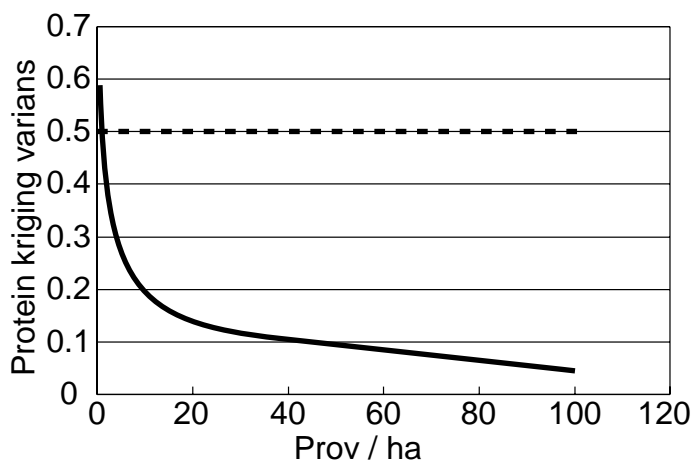
Bakgrunden till applicering av sensorer i lantbruket är behovet av att förbättra och säkerställa de odlade produkternas kvalitet. Idag hanteras spannmål i stora volymer med den nackdelen att en liten defekt i ett stort parti kan förstöra hela partiet eller sänka dess värde. Genom att i ett tidigt stadium veta en produkts kvalitet ökar möjligheterna att hantera den på bästa sätt. Med en sensor som mäter spannmålets proteinhalt redan på tröskan, möjliggörs sortering eller hantering av produkten för att uppnå de kvalitetskrav som ställs på den aktuella odlingen.

## Proteinbestämning

I dag bestäms proteinhalten på grödan vid spannmålmottagningen då lantbrukaren levererar spannmålen. I samband med invägning tas prov på spannmålspartiet som sedan analyseras i laboratorium. Ofta är det Kjeldahl-analysen som används, men under senare år används även NIR-instrument (Near Infrared Reflectance). NIR-instrumenten är dock känsliga för stötar och vibrationer och är mycket kostsamma.

## Variationer i proteininnehåll

I likhet med att avkastningen varierar på ett fält varierar även den skördade produktens kvalitet. Under senare år finns ett antal studier som visar att det kan vara ekonomiskt lönsamt att sortera den skördade produkten i olika fraktioner. Detta gäller i första hand produkter som malkorn och kvarnvet. För att mäta variationen över en yta med en viss noggrannhet krävs en viss provtagningstäthet. Ju intensivare provtagning desto noggrannare resultat. I bild 1 visas hur noggrannheten förbättras ju intensivare provtagning som används.



*Bild 1. För att erhålla en god noggrannhet då man studerar hur en parameter varierar över en yta krävs en ganska intensiv provtagning. I bilden visar den streckade horisontella linjen variansen över hela fältet medan kurvan visar variansen vid olika provtagningensintensitet. Kurvan är beräknad utifrån fältförsök i Uppsalatrakten. Under svenska förhållanden förklarar vi ca 75 % av variationen om vi tar ca 25 prov/ha.*

## Mål

Projektet har två delmål:

- Att konstruera och utvärdera ett provtagningssystem för montering på spannmålselevatorer.
- Att fastställa NIT-sensors förmåga att mäta proteinhalt och vattenhalt på spannmålskärnor. Dessutom undersöks hur lantbruksmiljön med tanke på damm och vibrationer påverkar mätnoggrannheten.

Studien bör ge en uppfattning om det i framtiden är möjligt att utnyttja tekniken för att mäta proteinhalten i spannmål on-line.



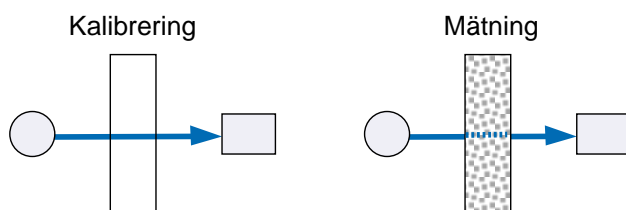
## Material och metoder

### NIT-instrument

NIT-instrumentet som använts i projektet, Zeltex ZX50, är utvecklat för manuell provtagning av spannmål och kan, till skillnad från dagens laborieutrustning, enkelt bäras med i fält. En annan stor skillnad mellan detta instrumentet och ett laborieinstrument är att ett laborieinstrument ofta mäter 256 våglängder medan ZX50 mäter 14 olika våglängder i det nära infraröda området. Utifrån förhållandet mellan dessa 14 våglängder samt kärnornas och instrumentets temperatur beräknas protein- och vattenhalten.

Faktorer som påverkar noggrannheten för ett NIT-instrument är bland annat kryptström, vibrationer, damm och ljusläckage samt spannmålskärnorna (hela och rena). Dessa faktorer inverkan på mätningarna bör därför elimineras så långt som möjligt.

Vid mätning med ett NIT-instrument kalibreras först instrumentet genom att mängden ljus som passerar den tomma mätkammaren registreras. Därefter fylls mätkammaren med spannmål, varefter man registrerar hur mycket ljus som kan passera provet (bild 2). Kalibreringen är speciellt viktig vid on-line-mätning eftersom slitage på ytor kommer att medföra att olika mycket ljus kommer att passera mätkammaren.



*Bild 2. Vid bestämning av proteininnehållet med NIT-instrumentet kalibreras instrumentet först mot en tom mätkammare, varefter man registrerar hur mycket ljus i olika våglängder som kan passera då mätkammaren är fylld med spannmål.*

### Stationär test av NIT-instrumentet

250 spannmålsprover från hösten -99 har analyserats med Kjeldahl-metoden av HS-Miljölab i Kalmar med avseende på bland annat protein. Samma prover analyserades med NIT-instrumentet fritt uppställt i laboratorium, där fyllning och tömning av provet utfördes manuellt.

### Anpassning av NIT-instrument för on-line-mätning

För att anpassa NIT-instrumentet för on-line-mätning byggdes ett provtagningssystem som tillåter intermittenta mätning av prover i ett spannmålsflöde. Provtagningsystemet är avsett att monteras på sidan av en kedjeelevator på t.ex. en

skördetröska. För att NIT-instrumentet skulle kunna användas on-line och styras av dator blev det nödvändigt att modifiera programvaran i instrumentet.

I projektets första del konstruerades ett provtagningssystem anpassat för NIT-sensorn. Provtagaren tar ut ett prov från elevatoren med ren spannmål, fyller sensorn och släpper tillbaka provet när mätningen är klar (bild 3).



*Bild 3. Sensor och provtagare monterade på en kedjeelevator i ett slutet system för spannmålstransport. Spannmålen lyfts med elevatoren och återförs med störtröret tillbaka i behållaren.*

Mätsystemet består av handdator/logger (PSION Workabout MX och V-comm), NIT-sensorn (Zeltex ZX-50), PLC (Mitsubishi FX-24MR-DS) (bild 4). PLC:n styr systemet genom att öppna respektive stänga in- och utsläppsluckorna. Mätdata från sensorn lagras i handdatorn. I ett system avsett för en tröska tillkommer en GPS för positionering på fält.



*Bild 4. Provtagningsystemet med proteinsensorn monterad i provtagaren. Elmotorerna för att öppna och stänga in- och utsläppsluckorna är placerade utvändigt. PLC och spänningsregulator monterades på sidan av elevatorm. Handdator, ej i bild, användes för att lagra data.*

### **Utvärdering av NIT-instrumentet vid on-line-mätning**

För att simulera den miljö som råder på en tröska monterades provtagnings-systemet på en elevator liknande tröskelevatorerna. Stationär testkörning framkallade vibrationer och skakningar liknande de som uppkommer på en skörde-tröska.

## Resultat

### Stationärt test av NIT-instrumentet

250 spannmålsprover från hösten 1999 analyserades manuellt med NIT-instrumentet. 186 prover kommer från försök med växtnäringsstyrning i Östergötland medan 87 prover kommer från kväveeffektivitetsförsök i Uppsala. I Uppsalaförsöken varierade proteinhalten mellan 12,2 och 16,5 % då proverna analyserades på laboratorium medan den varierade mellan 12,5 och 16,3 % då proteinhalten analyserades med NIT-instrumentet.  $R^2$ -värdet bestämdes till 0,9649 för den anpassade funktionen (bild 5).

För de 186 proverna från Östergötland var variationen avseende proteinhalt 8,3-11,5 %. Eftersom spännvidden i proteinhalten (bild 6) var mindre än för datat från Uppsala, blev också anpassningen i form av  $R^2$  sämre än för Uppsalaproverna.

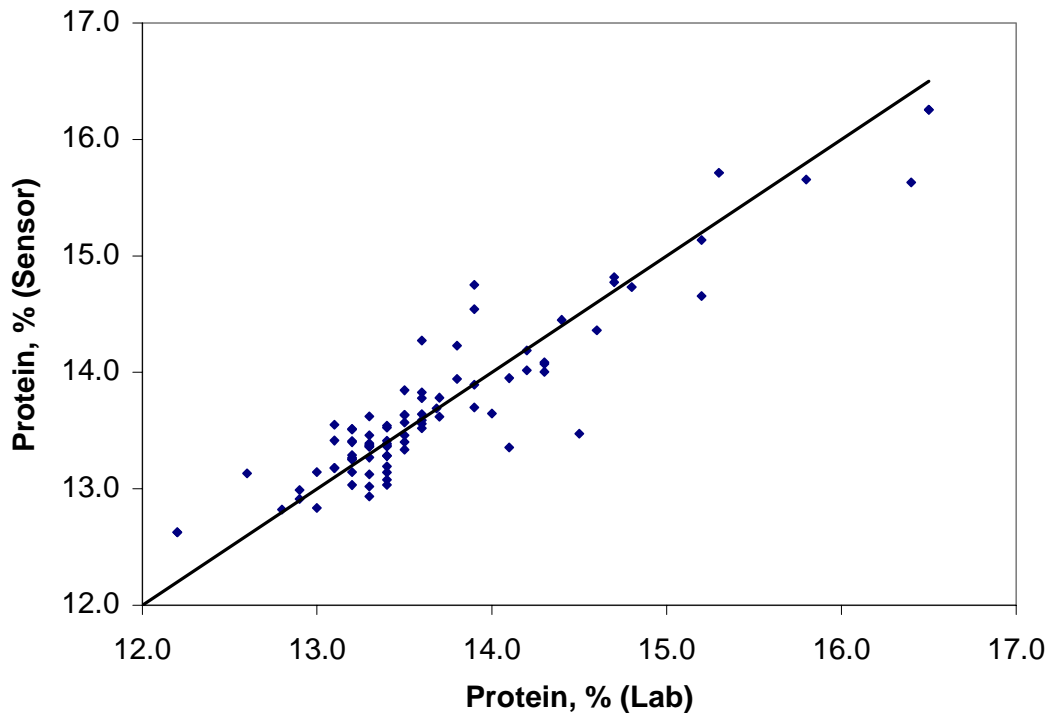


Bild 5. Proteinhalt uppmätt på laboratorium respektive med NIT-instrumentet för data från Uppsala.

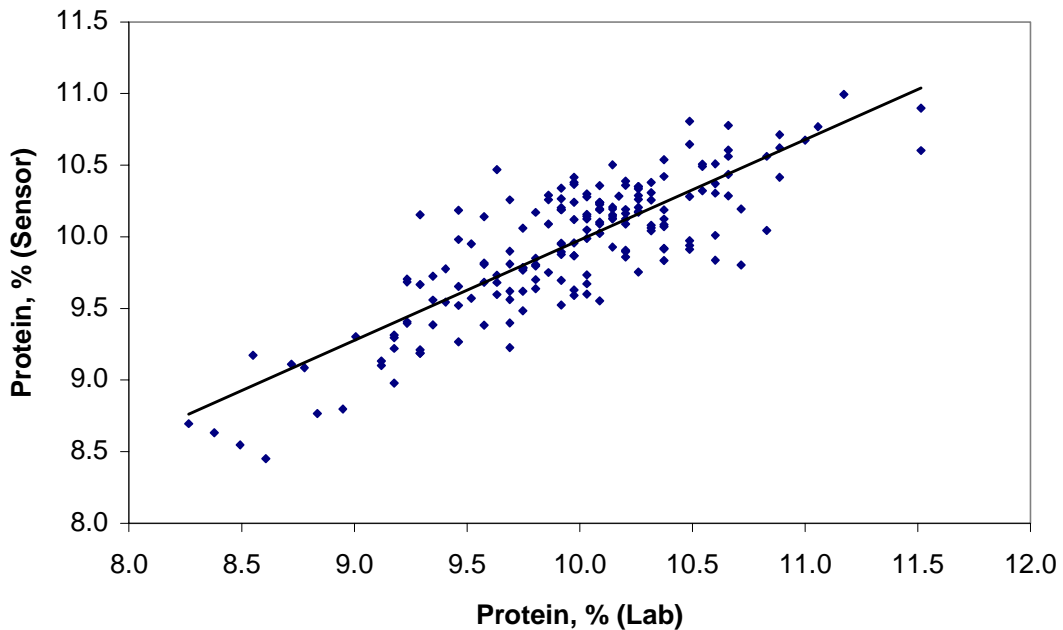


Bild 6. Proteinhalt uppmätt på laboratorium respektive med NIT-instrumentet för data från Östergötland. På grund av den mindre variationen i proteinhalt blev också anpassningen av sambandet mellan analysmetoderna sämre.

## Provtagningsystemets mekaniska funktion

Under de första testmätningarna monterades NIT-instrumentet i provtagaren. Systemet testades och funktionskontroll genomfördes. Fyllning, tömning och mätning fungerade utan anmärkning

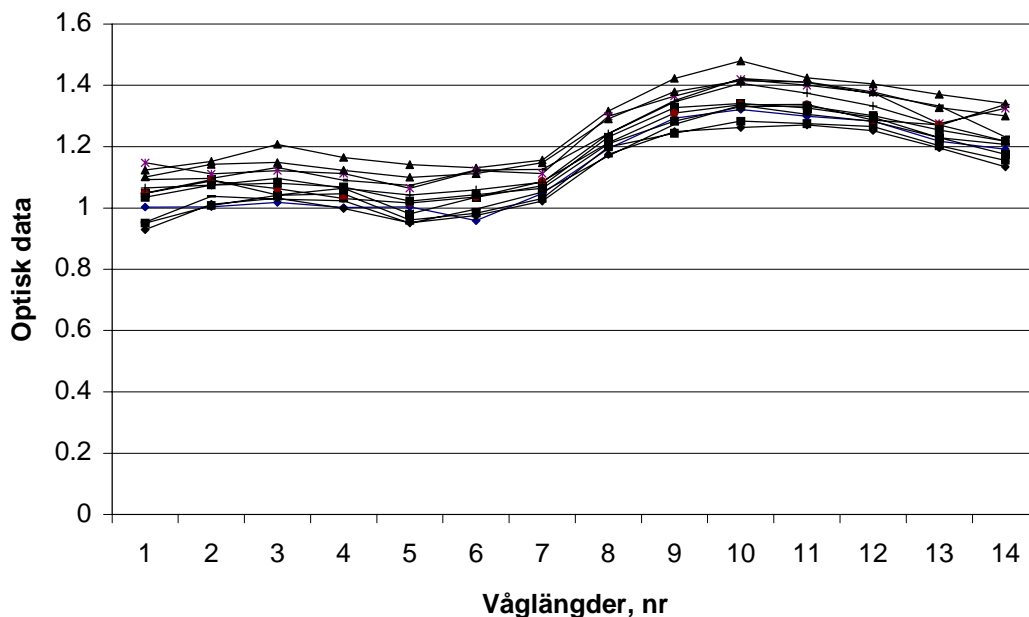
Teoretiska tider för mätning, kalibrering och beräkning är följande: Kalibrering av sensorn, mätning med tom kammare, 8 sekunder. En proteinhaltsmätning, mätning med fylld kammare, 7 sekunder. Beräkning av protein och vattenhalt, 2 sekunder. Tider för fyllning, tömning och genomströmning av spannmål genom kammaren varierar något, men uppgår till ca 5 sekunder för fyllning och 5 sekunder för tömning och genomströmning av kärnor.

Totaltid för en mätcykel med 4 protein- och vattenhaltsvärden blir därmed ca 84 sekunder, dvs. 21 sekunders intervall i snitt mellan mätvärdena. Mätssystemet kommer därmed att kunna mäta protein- och vattenhalten med en provtagnings-täthet på mellan 33 och 106 prov per ha beroende på arbetsbredd och på tröskans hastighet (för de beräknade exemplen 4,5-7,5 m arbetsbredd och hastighet 1-2 m/s). Provtagningsintensiteten som uppnås är alltså tillräckligt hög för praktisk användning.

Eftersom en liten mängd spannmål kontinuerligt kördes runt i elevatorn krossades och maldes spannmålskärnorna efter hand sönder (NIT-instrumentet är avsett för mätning av hela kärnor). Malningen medförde dessutom stark dammbildning. För att undvika dessa problem, vid felsökning och förbättring av systemets olika delar, använde vi ett plastmaterial bestående av små plastkorn för transport i elevatorn. Sensorns mätkammare fylldes vid dessa tillfällen med spannmål genom ett biflöde.

## Testmätning av proteinhalt i provtagningsystemet

Ett antal faktorer påverkar sensorns förmåga att mäta proteinhalten, såsom: statisk elektricitet, magnet-/elfält, skakningar/vibrationer samt kärnorna (krossade) och damm. Resultat från de första testerna med sensorn monterad i provtagnings-systemet visas i bild 7. Vid dessa mätningar fungerade sensorn mycket dåligt, vilket tydligt kan utläsas ur oregelbundenheterna i bild 7. Beräknad proteinhalt varierade mellan  $-31$  och  $+32$  procentenheter.



*Bild 7. I diagrammet visas reflektansdata från det första testet med sensorn i provtagnings-systemet. Resultat från tolv mätningar uppvisar ett oregelbundet mönster i reflektansdatat och är en direkt indikation på felmätning.*

Genom att utesluta faktor för faktor undersöktes orsaken till det svaga mätresultatet. Elevatorn stoppades, vilket medförde att skakningar och vibrationer försvann liksom dammet som uppkom i riklig mängd i elevatorn. Mjukvaran i NIT-sensorn modifierades och vi säkerställde att all utrustning var kopplad till samma jordpunkt.

### Test av NIT-sensorn utan flöde

Efter att ha åtgärdat ett antal felkällor testades NIT-sensorn i dess grunduppställning, dvs. utan att spannmålen passerar genom sensorhuvudet. Fyra olika försöksuppställningar provades:

- sensorn placerad på ett bord vid sidan om provtagningsystemet som var i drift.
- sensorn placerad på sin rätta plats i provtagningsystemet som var i drift, elevatorn var fränkopplad, dvs. det fanns inga vibrationer.
- som uppställning b men elevatorn var i drift och sensorn vibrerade.
- som uppställning c men sensorn avdämpades från vibrationer.

I varje försöksuppställning gjordes 12 upprepningar av mätningarna. Reflektansdata från de olika försöksuppställningarna visas i bild 8, och en sammanställning av resultaten visas i tabell 1. Av tabellen framgår tydligt att sensorn påverkas av starka vibrationer, samtidigt som en enkel dämpning åter ger bra mätvärden.

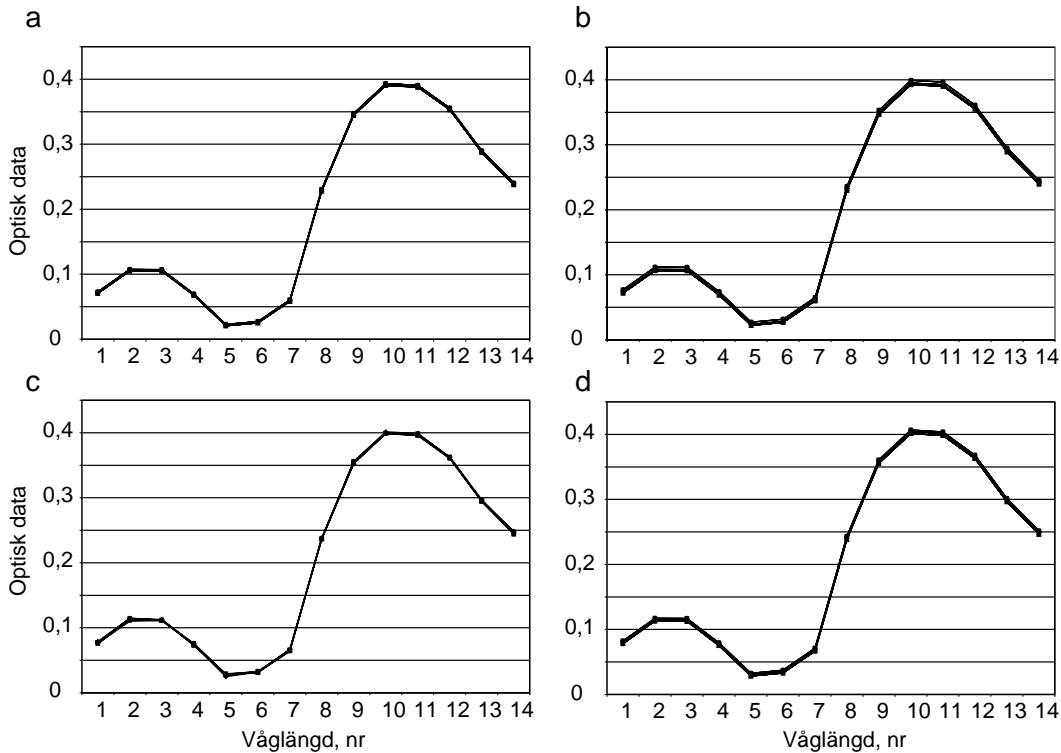


Bild 8. Reflektansdata från de fyra försöksuppställningarna var mycket lika. Även om kurvorna (12 kurvor i vardera diagrammet) ser ungefär likadana ut i uppställning c har variationerna påverkat den beräknade proteinhalten.

Tabell 1. Sammanställning av mätdata då sensorn provades utan att spannmål passerade sensorhuvudet.

Uppställning	min	medel	max	standard avvikelse
a	10,61	10,69	10,78	0,05
b	10,50	10,67	10,77	0,08
c	8,46	10,92	12,55	1,35
d	10,41	10,60	10,73	0,09

### Test av NIT-sensorn med flöde genom sensorn

Då NIT-sensorn testades med flöde modifierades sensorhuvudet och mätkoppens så att spannmål kunde passera genom sensorn. Detta innebar att vi i motsats till de tidigare mätningarna inte mätte på samma spannmålskärnor hela tiden. Dessutom användes kärnor från ett annat spannmålsparti. Försöket genomfördes genom att fylla sensorn genom ett biflöde medan elevatorn transporterade ett plastmaterial. Utvärderingen gjordes dels med stillastående elevator (a), dels med elevatorn igång (b). En sammanställning av resultaten visas i tabell 2.

Tabell 2. Då NIT-sensorn fylldes med spannmål genom ett flöde ökade spridningen i mätvärden jämfört med tidigare då alla mätningar gjordes på samma kärnor.

Uppställning	min	medel	max	standard avvikelse
a	10,04	10,32	10,72	0,18
b	9,68	9,97	10,25	0,17

### Test av NIT-sensorn med spannmål från elevatorn

Det sista testet av systemet genomfördes som systemet är tänkt att fungera i praktiken, dvs. att provtagningsystemet fyllde sensorn med spannmål från elevatorn. Testet pågick en timme varvid 147 prov mättes. Av dessa missade sensorn ett värde. Provtätheten blev därmed 25 s/mätvärde, vilket visade att systemet uppfyller de krav som ställs då sensorsystemet ska användas i praktisk drift.

## Diskussion

Projektet har påvisat möjligheten att mäta proteinhalt i spannmål on-line redan i samband med skörd. Detta möjliggör att i ett tidigt stadium säkerställa en produkts kvalitet och därmed öka dess värde. Förutom att ha en säkerställd kvalitet ges också möjligheten att sortera en produkt i olika kvaliteter för att höja produktens värde.

Sorteringen av spannmål kan göras på olika platser. Den första möjligheten är att sortera produkten redan i fält genom att tanka över spannmålen i olika vagnar beroende på dess kvalitet. Sorteringen av spannmålen kan också göras på gårdens tork genom att transportera spannmålen till olika silos. En liknande lösning kan också tänkas på de större spannmålmottagningarna. En fördel med att sortera spannmålen vid gårdens tork eller vid en spannmålmottagning är att logistiken blir enkel. En nackdel med att sortera senare i hanteringskedjan är att möjligheten att sortera väl är mindre eftersom olika kvaliteter redan är blandade.

För att proteinsensorn skall vara kommersiellt gångbar krävs troligtvis en viss vidareutveckling av mätkammaren. Speciellt viktigt är att säkerställa god funktion på vibrationsdämpningen.

Andra frågor av intresse att studera är bland annat hur beläggningar i mätkammaren påverkar instrumentets noggrannhet och hur spannmålsflödet genom sensorn påverkas av höga vattenhalter. Dessa studier kommer att genomföras i ett annat projekt under skörden år 2000.