

JTI-rapport
Lantbruk & Industri

355

**Sensorer för bestämning av
ensilagekvalitet i samband
med utfodring**

Bo Stenberg
Mårten Hetta
Martin Sundberg



JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

2007

Sensorer för bestämning av ensilage- kvalitet i samband med utfodring

Monitoring silage quality by sensors in connection with feeding

Bo Stenberg¹
Mårten Hetta²
Martin Sundberg³

¹ Institutionen för markvetenskap, SLU

² Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, SLU

³ JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Innehåll

| | |
|---|----|
| Förord..... | 5 |
| Sammanfattning | 7 |
| Summary | 8 |
| Introduktion | 9 |
| Material och metoder | 9 |
| Ensilageprover..... | 9 |
| Konsumtionsstudie | 10 |
| NIR-analys | 11 |
| NIT-analys..... | 11 |
| Utvärdering av spektra | 12 |
| Resultat och diskussion..... | 13 |
| Provpresentation för NIR-analys..... | 14 |
| Prediktion av kvalitetsparametrar med NIR och NIT | 17 |
| Prediktion av konsumtion med hjälp av spektrala data..... | 22 |
| Möjligheter till kvalitetsanalys i samband med utfodringen | 24 |
| Slutsatser | 24 |
| Referenser | 25 |
| | |
| Bilaga 1. Korrelationstabell över resultaten av analyserna 2004..... | 27 |
| Bilaga 2. Korrelationstabell över referensdata från ensilageprover 2005 | 29 |

Förord

Med ett allt större intresse för vallfoderkvalitet och krav på mer kostnadseffektiv utfodring i mjölkproduktionen finns ett behov för fler och mer omfattande analyser av vallfoder. Användning av spektrala metoder som NIR (Near Infrared Reflectance) respektive NIT (Near Infrared Transmittance) är två varianter av spektrala mätmetoder som skulle kunna erbjuda möjligheter för okomplicerade foderanalyser av färskt ensilage på gårdsnivå. I denna rapport redovisas ett projekt där förutsättningarna att använda NIR/NIT för att bestämma viktiga kvalitetsparametrar i färskt ensilage undersökts.

Projektet har genomförts som ett samarbete mellan SLU och JTI, med en projektgrupp bestående av Bo Stenberg, SLU Skara, Mårten Hetta, SLU Umeå och Martin Sundberg, JTI. Bo Stenberg, som också fungerat som projektledare, har genomfört mätningarna med NIR samt utfört den statistiska bearbetningen av spektrala data. Mårten Hetta har ansvarat för insamlingen av prover samt den konsumtionsstudie som genomfördes i projektet. Martin Sundberg har genomfört mätningarna med NIT.

Medel för projektets genomförande har ställts till förfogande från Stiftelsen Lantbruksforskning. Länsstyrelsen i Västerbottens län och Norrmejeriers producenttjänst har assisterat vid insamlingen av foderprover. Till alla som bidragit till projektets genomförande framförs ett varmt tack.

Uppsala i mars 2007

Lennart Nelson

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

Variationer i ensilagens kvalitet påverkar foderstatens sammansättning från dag till dag och därmed djurens foderkonsumtion och förmåga att producera mjölk. För att förbättra kostnadseffektivitet och precision i svensk mjölkproduktion finns behov av analytiska verktyg som kan ge kontinuerlig information om hur olika kvalitetsparametrar i ensilaget varierar. För att kunna beräkna optimerade foderstater finns det också behov av att i förväg känna till hur mycket korna förväntas äta av ett visst grovfoder vid utfodring i fri tillgång.

NIR (Near Infrared Reflectance) respektive NIT (Near Infrared Transmittance) är två varianter av spektrala mätmetoder som skulle kunna erbjuda möjligheter för okomplicerade foderanalyser av färskt ensilage på gårdsnivå. För att undersöka och utveckla möjligheterna att analysera ensilagekvalitet i samband med utfodringen genomfördes detta projekt som ett samarbete mellan SLU och JTI. Möjligheten att förutsäga konsumtionen med dagliga analyser studerades också i projektet genom en konsumtionsstudie med mjölkkor.

Under vintern 2003-2004 samlades 69 ensilageprover in från 47 mjölkproducenter i norra Sverige. Proverna representerade en bred variation i både fenologisk utveckling och botanisk sammansättning, och härrörde från flera olika konserverings-system. I anslutning till en konsumtionsstudie med mjölkkor togs under våren 2005 ytterligare 59 prover för att följa den dagliga variationen i kvalitet hos ensilage i en enskild besättning.

Alla foderproverna togs som färdigensilerade i samband med utfodring. Samlingsprover om ca 5 liter färskt prov homogeniserades manuellt och delades upp i fyra lika delar. En del av provet torkades (60°C) och maldes för kemiska analyser och *in vitro*-analyser. En annan del av provet extraherades i destillerat vatten för analys av fermentationsprodukter, pH och ammoniumkväve. De två resterade delproven analyserades färska med NIR respektive NIT. Även de torkade och malda proven analyserades med NIR-teknik, liksom torkat men ej malt ensilage från gårdsproverna 2003/04.

I en konsumtionsstudie undersöktes effekterna av variationer i ensilagekvalitet på konsumtionen hos mjölkkor. Studien pågick under två månader med ensilage från plansilo och rundbalar.

Resultaten visade att både NIT och NIR kan användas för att bestämma torrsubstanshalt med gott resultat. För övriga kvalitetsparametrar har, med de i studien givna instrumenten, analyser med NIR generellt sett gett bättre resultat än NIT. För ensilage med begränsad fysiologisk variation var det med NIR möjligt att bestämma i första hand råprotein och NDF, men även smältbar energi, lösligt protein, laktat och acetat fungerade ganska bra. Socker och ammoniumkväve fungerade dåligt medan ADF intog en mellanställning.

Konsumtionsstudien visade att användning av *enbart* NIR-analyser fungerar dåligt för att förutsäga konsumtionen av ensilage. Däremot erhöles bra resultat när prediktionen baserades på både ensilageanalyser och djurdata. Kvalitetsparametrar bestämda med NIR gav då lika bra eller till och med bättre resultat än med våtkemiska analysmetoder.

Summary

Variations in silage quality affect the daily composition of the diet and thereby animal feed intake and milk production ability. To improve cost efficiency and precision in the Swedish dairy industry, there is a need for analytical tools that can provide continuous information on variations in different silage quality parameters. In order to calculate optimised rations, there is also a need for information that can predict the voluntary intake of forages in dairy cows.

NIR (Near Infrared Reflectance) and NIT (Near Infrared Transmittance) are two variants of spectrometry that could provide the potential for non-complex nutritional analysis of fresh silage at farm level. This report describes a joint project carried out by SLU and JTI aimed at investigating and developing the potential for analysing silage quality in conjunction with feeding. The potential to predict intake by daily analysis was also investigated in the project in a feed intake study on dairy cows.

During winter 2003-2004, a total of 69 silage samples were collected from 47 dairy farms in northern Sweden. These samples represented a wide variation in both phenological development and botanical composition and were taken from several different forage conservation systems. In conjunction with the feed intake study in dairy cows, a further 59 samples were taken during spring 2005 to monitor the daily variation in silage quality in relation to voluntary intake in dairy cows.

All forage samples were taken as mature silage in conjunction with feeding. Bulk samples of approx. 5 litres of fresh material were homogenised manually and divided into four equal portions. One of these portions was dried (60°C) and milled for chemical and *in vitro* analyses. A second portion was extracted in distilled water for analysis of fermentation products, pH and ammonium nitrogen. The two remaining portions were analysed fresh using NIR or NIT. The dried and milled sub-samples were also analysed by NIR, as was dried but non-milled silage from the farm samples taken in 2003/04.

The feed intake study investigated the effects of variations in silage quality on silage intake in dairy cows. The study lasted for two months and used silage from both bunker silos and round bale silage.

The results showed that both NIT and NIR can be used to determine dry matter content with good accuracy. In analyses of other quality parameters using the instruments investigated in the present study, NIR produced better results than NIT. For silage with a limited physiological variation, it was possible using NIR to determine crude protein and NDF in the first instance, while analyses of metabolisable energy, soluble protein, lactate and acetate also functioned reasonably well. Analyses of sugars and ammonium nitrogen functioned poorly, while ADF was intermediate.

The feed intake study showed that using NIR analyses *alone* functioned poorly as a predictor of silage intake. However, good results were obtained when predictions were based on both silage analyses and animal data. Quality parameters determined using NIR then produced similar or even better results than wet chemical analysis methods.

Introduktion

Ensilage av vallväxter är det fodermedel i mjölkproduktionen som har mest variation i sammansättning och kvalitet på gårdsnivå. Kvaliteten hos vallensilage varierar mycket både mellan och inom fält, och naturligtvis även mellan skördetillfällen. Variationerna påverkar foderstatens sammansättning från dag till dag och därmed djurens foderkonsumtion och förmåga att producera mjölk av jämn och hög kvalitet. Den viktigaste kvalitetsparametern hos ensilage som uppvisar betydande variation är torrsbstanshalten (TS) i fodret. TS har stor betydelse för kons konsumtion och påverkar starkt näringsämnenas koncentration i det färska ensilaget. Med införandet av det nya NorFor-systemet (Gustavsson *et al.*, 2005) för fodervärdering kommer ensilagens kvalitet att få en större betydelse i förhållande till nuvarande fodervärderingssystem. Det blir därmed av stor betydelse hur mycket kon de facto äter och att i förväg känna till detta för att kunna beräkna korrekta foderstater. I avsikt att förbättra kostnadseffektiviteten och precisionen i svensk mjölkproduktion skulle därför daglig analys av vattenhalt och ensilagekvalitet i foderstaten i samband med utfodringen vara önskvärd. För att kvalitetskontrollen skall ske med en minimal arbetsinsats och till en rimlig kostnad behöver analyserna då ske med minimal provberedning, det vill säga utan torkning eller sönderdelning.

NIR (Near Infrared Reflectance) respektive NIT (Near Infrared Transmittance) är två metoder för sensorbestämning som har mycket god potential för kontinuerlig foderanalys på gårdsnivå. Med NIR/NIT kan man på ett snabbt och enkelt sätt utföra analyser eftersom behovet av provberedning är minimal jämfört med våtkemiska metoder. Själva analysen är sekunds snabb och resultatet kommer mer eller mindre momentant via en tidigare kalibrerad prediktionsmodell. Kalibreringen kräver ett referensmaterial med ett spektrum av kända foderkvaliteter som är representativa för det aktuella fodret.

Syftet med projektet är att göra det möjligt att bestämma TS och andra kvalitetsparametrar i grovfodret i samband med utfodringen och därigenom kunna anpassa foderstaten och tilldelningen av foder. I detta projekt undersöks möjligheterna att använda nära infraröd reflektans (NIR) och transmittans (NIT) för analys av färskt ensilage. Projektet syftar även till att undersöka möjligheterna att prediktera den dagliga konsumtionen av ensilage hos mjölkkor med hjälp av spektrala parametrar som beskriver ensilaget.

Material och metoder

Ensilageprover

För att beskriva en del av den variation i ensilagekvalitet som finns i den praktiska mjölkproduktionen skapades inom ramen för projektet en provbank med ensilageprover. Provbanken omfattade två olika grupper av prover. Den första gruppen omfattade 69 gårdsprover tagna under vintern 2003-2004. Gårdsproverna samlades in med hjälp av Norrmejeriers producenttjänst och länsstyrelsen i Västerbotten från totalt 46 mjölkproducenter i norra Sverige, samt från forskningsprojekt vid Grovfodercentrum, SLU Umeå. Materialet är insamlat från både första- (32 prover) och andraskörd (37 prover). Proverna härrörde från olika typer av konserveringssystem, 13 % kom från torsnilo, 26 % från plansilo, 57 % från rundbalar och 3 % från limpor. Proverna representerade en mycket bred variation i fenologisk utveckling

och botanisk sammansättning av både gräs och klöver. Den andra gruppen av prover omfattade 59 prover och samlades in för att följa den dagliga variationen i kvalitet hos ensilage i en enskild mjölkbesättning. Proverna kom från projektets konsumtionsstudie under våren 2005 vid Grovfodercentrum, SLU Umeå.

Alla foderproverna i projektet togs som färdigensilerade i samband med utfodring. Samlingsprover om ca 5 liter färskt prov homogeniserades manuellt och delades upp i fyra lika delar. En del av provet torkades (60°C) och maldes för kemiska analyser och *in vitro*-analyser. En annan del av provet extraherades i destillerat vatten för analys av fermentationsprodukter, pH och ammonium-N. De två resterade delproven analyserades färskt med NIR- och NIT-teknik. Även de torkade och malda proven analyserades med NIR teknik, liksom torkat men ej malt ensilage från gårdsproverna 2003/04.

Konsumtionsstudie

För att studera effekterna av variation i foderkvalitet på konsumtionen av ensilage hos mjölkkor genomfördes en konsumtionsstudie med två parallella led, ett med rundbalsensilage och ett med plansiloensilage. Studien pågick under två månader, april och maj 2005. Partierna av ensilage finns beskrivna i tabell 1. Varje enskilt parti representerade vallgräs, i huvudsak av timotej och ängssvingel, skördat under en och samma dag från enskilda fält under sommaren 2004. Från varje led togs dagliga prover av ensilaget i samband med utfodring.

Tabell 1. Medelvärde och standardavvikelse för utvalda referensanalyser av ensilagepartierna som ingår i konsumtionsstudien.

| Parti | Led | n | Skörd | TS ¹ | STDV | ME ² | STDV | RP ³ | STDV | NDF ³ | STDV |
|-------|----------|----|--------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|------------------|------|
| A | Rundbal | 7 | Andra | 56,5 | 4,7 | 9,9 | 0,16 | 12,3 | 0,58 | 66,9 | 0,96 |
| B | Rundbal | 7 | Första | 32,0 | 6,7 | 11,0 | 0,42 | 16,1 | 1,74 | 55,6 | 4,16 |
| C | Rundbal | 7 | Tredje | 24,0 | 2,0 | 10,2 | 0,12 | 19,3 | 1,78 | 58,2 | 2,24 |
| D | Rundbal | 7 | Andra | 44,0 | 1,8 | 10,4 | 0,08 | 15,6 | 1,77 | 63,0 | 1,91 |
| E | Rundbal | 6 | Andra | 57,0 | 5,0 | 10,3 | 0,16 | 13,9 | 0,89 | 60,1 | 0,86 |
| F | Plansilo | 14 | Första | 27,0 | 1,2 | 11,5 | 0,19 | 18,6 | 1,07 | 48,6 | 2,99 |
| G | Plansilo | 11 | Andra | 31,0 | 1,7 | 11,0 | 0,17 | 15,3 | 0,32 | 55,8 | 1,56 |

TS=Torrsubstans, ME=Omsättbar energi, RP=Råprotein, NDF=Neutral Detergent Fibre

¹ Viktprocent av fodret, ² MJ per kg TS, ³ Procent av TS

Studien omfattade mjölkkor (första- och andrakalvare) av SRB-ras med en levandevikt mellan 540 och 660 kg. Djuren var i medel och sen laktation och hade en daglig mjölkavkastning på mellan 26 och 33 kg ECM i genomsnitt under försöket. Mjölproduktionen registrerades individuellt vid fyra tillfällen (ordinarie provmjölkningar) och djuren vägdes varje vecka, totalt vid sex tillfällen. Ensilagen utfodrades i fri tillgång (10 procent rester) och konsumtionen registrerades individuellt dagligen genom vägning av utfodrad mängd och rester.

Rundbalsensilage utfodrades från fem olika partier (A-E) till en grupp om 12 kor. Djuren fick varje dag foder från en ny ensilagebal. Balar från samma parti utfodrades under sju dagar. Förutom ensilaget fick djuren ca 8 kg kraftfoder/ko/dag och mineralfoder. Plansiloensilage utfodrades från två olika partier (F-G) till två grupper om 8 kor i perioder om cirka två veckor. Förutom ensilaget fick djuren ca 7 kg kraftfoder/ko/dag och mineralfoder.

NIR-analys

I projektet har ett bärbart NIR-instrument utrustat med en fiberoptisk prob använts (FieldSpec Pro FR, ASDI, Colorado USA, www.asdi.com). Instrumentet mäter hela det synliga området (350-780 nm) och hela det nära infraröda området (780-2500 nm) med ett band varannan nm och med en bandbredd på 3-10 nm. Instrumentet har därmed en mycket hög prestanda (Ciurczak, 1997). Eftersom NIR-spektrumet från ett prov alltid registreras relativt en standardiserad vit referens kan även ljuskällan varieras. Fiberoptiken kan därmed placeras i en uppsjö uppställningar för provpresentation där ljuskälla, vinklar och avstånd kan varieras. Fiberoptiken har en synvinkel på 25° och avståndet bestämmer därmed den yta som analyseras. I projektet jämfördes och utvärderades tre olika prober som den optiska fibern monterades i:

1. En fristående 50W tungsten halogenlampa med 40 cm avstånd och 60° vinkel till provet. Fiberproben placerades med 10 cm till provet med 60° vinkel till provet motsatt ljuskällan (60° mellan prob och ljuskälla) enligt figur 1A. Mätarean var 25cm².
2. En s.k. kontaktprob (High Intensity Contact Probe, ASDI) med inbyggd tungsten halogenlampa placerad 3,5 cm från provet med 85° vinkel och fiberproben 1,5 cm från provet med 55° vinkel till provet längs ljuskällan (30° mellan ljuskälla och fiberprob) enligt figur 1B. Mätarean är 0,5 cm².
3. En s.k. Trumpet Spacer (Trumpet Spacer probe, ASDI) med en fiberoptiskt förmedlad ljuskälla från en halogen tungstenlampa sammanflätad med den fiberoptiska proben placerades vinkelrätt mott provet på endast någon mm avstånd enligt figur 1C. Mätarean var ca 0,05 cm².



Figur 1. Tre olika uppställningar/prober som jämfördes. Fjärranalys med bar fiber (mätarean 25 cm²) (A), kontaktprob med sammanbyggd lampa och fiberoptisk prob (0,5 cm²) (B) och Trumpet spacer med fiberoptisk prob sammanflätad med fiberoptisk ljuskälla (0,05 cm²) (C). Foto: Bo Stenberg

NIT-analys

I projektet användes ett kommersiellt standardinstrument (Portable Grain Analyzer ZX50, Zeltex Inc.), figur 2a, som ursprungligen tagits fram för att mäta vattenhalt och protein i spannmål. Instrumentet är mycket robust och innehåller inga rörliga delar. Som ljuskälla används lysdioder med olika våglängder i intervallet 893 till 1045 nm, uppdelat i 14 band. För våglängderna 1037 och 1045 nm krävs två lysdioder vardera för att uppnå erforderlig energimängd. Framför varje diod sitter ett filter som bestämmer den exakta våglängden, eftersom ljuset från lysdioderna ligger i ett normalfördelat intervall kring den önskade våglängden. Det prov som ska mätas placeras i en provkopp med genomskinliga väggar. Vid en mätning

sänder lysdioderna ut ljus sekventiellt och det transmitterade ljuset i varje våglängd mäts med en kiselfotodiod på mätkoppens motsatta sida. Eftersom transmittansen påverkas av temperaturen mäts även instrumentets och omgivningens temperatur.

För mätningar på spannmål används en standardmätkammare som har en öppen sida där spannmålen fylls i och töms ur, figur 2b. För detta projekt specialtillverkades en tvådelad mätkammare anpassad för ensilage, figur 2c. Materialtjockleken som ljuset ska passera i kammaren var 8 mm.

Ett generalprov för varje ensilage bereddes genom att klippa provet manuellt till ca 1 cm nominell längd. Efter omblandning togs en delmängd av generalprovet och fylldes i mätkammaren. Ensilaget fylldes under lätt komprimering upp till mätkammarens övre kant, varefter provvikten noterades och locket sattes på. Provvikterna låg i de flesta fall inom intervallet 3 till 6 gram torrsubstans. Mätning utfördes därefter enligt standardförfarande för instrumentet. Om en mätning resulterade i att antingen för mycket eller för lite ljus passerade genom provet förkastades mätningen. På varje prov utfördes tre mätningar, där mätkammaren återfylldes med nytt material vid varje mätning. Medelvärden för de tre dataseten med optiska data för varje ensilage användes i den efterföljande bearbetningen. Mellan två prov borstades mätkammaren ren från fasta partiklar, och före mätning på ett nytt ensilage rengjordes också mätkammaren med sprit.



Figur 2. a) NIT-instrument, b) standardmätkammare för spannmål, c) modifierad mätkammare för ensilage. Foto: Martin Sundberg

Utvärdering av spektra

NIR- och NIT-spektra utvärderades med multivariata, s.k. kemometriska, metoder i programmet Unscrambler 9.6 (Camo Process AS, Oslo). Principalkomponentanalys (PCA, Wold *et al.*, 1985) användes för att studera reproducerbarheten. Med PCA ersätts alla våglängder av ett fåtal, vanligen 2-4, principalkomponenter (PC) som förklarar merparten av variationen i data. Variationen i upprepningarnas värden, scores, i PC kunde sedan användas för att studera reproducerbarheten. För kalibrer-

ing av modeller där spektrumet används för prediktion av kvalitetsparametrarna användes partial least squares regression och för NIT även multipel linjär regression (PLSr resp. MLR, Martens & Naes, 1989). NIR-data förbehandlades genom 1:a derivatan, 2:a derivatan och standard normal variate och D-trendning (SNV-dt, Barnes *et al.*, 1993). Metoderna värderades genom korsvalidering där ett prov åt gången hölls utanför kalibreringen och predikterades. Samtliga prov kunde därför användas både för kalibrering och oberoende validering. Detta är ett bra sätt att utnyttja data när antalet referensprover inte är så många. Kalibreringarna värderades med en klassificering utifrån kvoten mellan standardavvikelsen (stdv) i referensmaterialet och medelavvikelsen för predikterade värden från korsvalidering i förhållande till referensdata (RMSECV). Denna kvot (stdv/RMSECV) kallas RPD.

För att utvärdera noggrannheten hos predikteringarna, har en klassificering föreslagen av Malley *et al.* (2004) använts. Klassificeringen utgår från de beräknade RPD-värdena, där RPD >4 är utmärkta, RPD = 3-4 är bra, RPD = 2,25-3 är ganska bra och RPD = 1,75-2,25 är användbara i vissa situationer.

Resultat och diskussion

Resultaten av referensanalyserna av de båda grupperna av ensilageprover finns redovisade i tabell 2. I tabellen redovisas även registrerad foderkonsumtion från djurförsöken.

Tabell 2. Medelvärde, standardavvikelse, min- och maxvärde för referensanalyser.

| Parameter | Prover från gårdar i norra Sverige Referensdata, 69 prover 2004 | | | Prover från konsumtionsstudien Referensdata, 59 prover 2005 | | |
|-------------------------|--|-------|----------|--|-------|---------|
| | Medel | Stdv. | Min-Max | Medel | Stdv. | Min-Max |
| TS ¹ | 34,0 | 10,6 | 19-74 | 36,6 | 12,6 | 21-67 |
| VOS ² | 85,8 | 6,5 | 66-97 | 86,0 | 3,7 | 79-92 |
| RP ³ | 15,4 | 2,6 | 10-23 | 16,2 | 2,5 | 12-22 |
| LP ⁴ | 51,6 | 9,0 | 33-75 | 56,5 | 6,5 | 39-72 |
| NDF ³ | 52,3 | 4,4 | 41-60 | 57,0 | 6,3 | 46-68 |
| ADF ³ | 33,3 | 3,2 | 27-39 | 38,0 | 3,8 | 31-46 |
| Socket ³ | 10,2 | 4,9 | 2-22 | 7,2 | 1,9 | 3-11 |
| NDFD ⁵ | – | – | – | 34,6 | 3,7 | 25-43 |
| Laktat ³ | 4,27 | 2,70 | 0,1-10,3 | 4,38 | 2,51 | 0,7-9,2 |
| Acetat ³ | 1,02 | 0,65 | 0,1-2,8 | 1,33 | 0,81 | 0,2-2,8 |
| Ammonium-N ⁴ | 5,0 | 2,1 | 1,0-10,0 | 6,6 | 2,0 | 3-12 |
| Konsumtion ⁶ | – | – | – | 10,5 | 1,7 | 5-14 |

¹ Viktprocent av fodret, ² Procent av organisk substans, ³ Procent av TS, ⁴ Procent av RP,

⁵ Smältbarhet av NDF, ⁶ kg TS ensilage per ko och dag

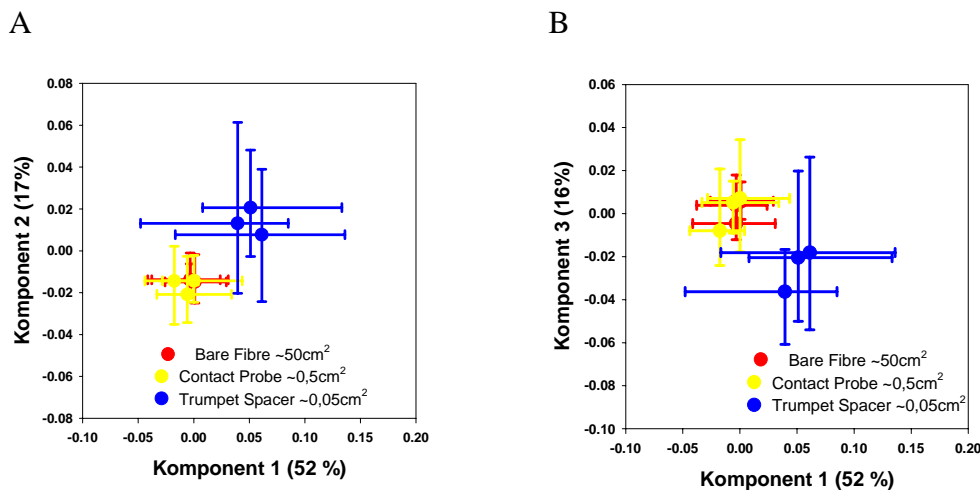
TS=Torrsubstans, VOS=Vomlöslig organisk substans, RP=Råprotein, LP=Lösligt protein, NDF=Neutral Detergent Fibre, ADF=Acid detergent fibre

I jämförelse med andra studier med spektrala analyser av ensilage (Revees *et al.*, 1989; Steen *et al.*, 2004;) har materialet i denna studie en stor spridning i kemisk sammansättning. Detta gäller framför allt gårdsproverna från 2004 som dessutom representerar en stor variation i fenologisk utveckling och botanisk sammansättning. Proverna från konsumtionsstudien hade en betydligt mindre fenologisk och botanisk variation.

Provpresentation för NIR-analys

Inför projektet utfördes orienterande studier med de tre olika standardproberna för NIR-analys. Ett vid skörd hackat klöver-/gräsensilage som ensilerats i plansilo användes i försöket.

I figur 3 redovisas PCA-plottar från medelspektrum med standardavvikelser av 20 spektra mätta i lika många segment av en 15 * 40 cm stor yta (figur 1) med de olika proberna. Varje prob användes i tre delprov av ensilaget. Spridningen i scores (värdet av ett prov på en principalkomponent) mellan upprepningarna från TSP är klart större jämfört med CP och BF, som är relativt lika. De tre medelvärdena för respektive prob sprider däremot lite, men något mer för TSP och CP än med BF. Dessa skillnader kan dock bero på skillnader mellan delproven. Det är också tydligt att spektra från Trumpet Spacer i genomsnitt avviker från de två övriga. Detta kan sannolikt förklaras av att sammanflätningen av fiber innebär skarvning av fiberoptiken, vilket ger ett sämre signal/brus-förhållande. Att skillnaden i spridning skulle vara större desto mindre area proben mäter var förväntat. Skillnaden mellan bar fiber och kontaktproben är därför förvånansvärt liten. Det kan också konstateras att 20 spektra från olika delar av ytan tycks ge ett relativt bra medelvärde eftersom skillnaden mellan de tre delproven är så liten.

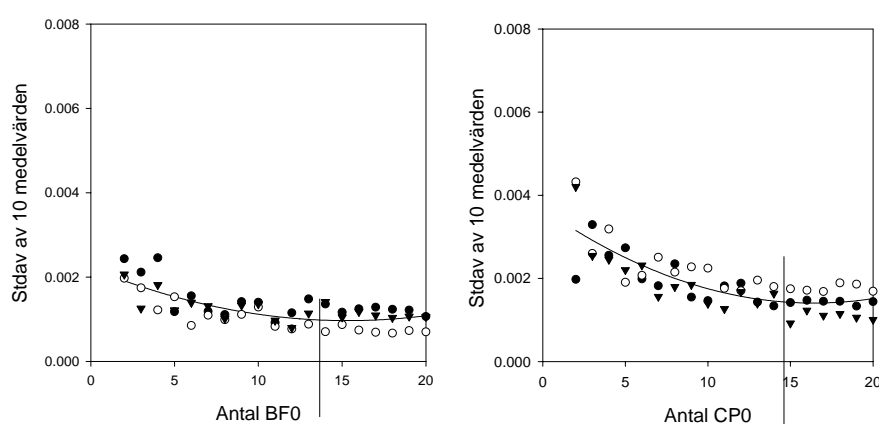


Figur 3. Medelvärde och standardavvikelse i Scores för 20 upprepningar i tre delprov med ohackat ensilage med de tre uppställningarna enligt figur 1. Principalkomponent 1 och 2 (A) och 1 och 3 (B) sammanlagt förklarande 85 % av den totala variationen i NIR spektrummen.

I det ovanstående har genomgående 20 spektra sparats från varje delprov för att få ett så säkert medelspektrum som möjligt och som nämnts tycks det vara tillräckligt i ett hackat ensilage. Med tanke på att det tar omkring en minut att utföra dessa 20 skanningar och att det blir ett manuellt arbete att flytta proben ville vi veta om motsvarande resultat kunde uppnås med färre skanningar. Därför undersökte vi vid vilket antal sparade delspektrum som medelvärdet av dessa förblev stabilt. Vi iordningställde tre brickor (15*40 cm) av det blandade ensilaget. I dessa analyserades 20 spektra vardera med kontaktproben (CP) och bar fiber (BF) i tio omgångar med omblandning emellan. D.v.s. 20 spektra * 10 omgångar * 3 delprov/upprepningar * 2 provpresentationer = 1 200 spektra sparades. Eftersom varje spektrum består av över 1000 band skulle det bli ohanterligt att utvärdera varje våglängdsband för sig.

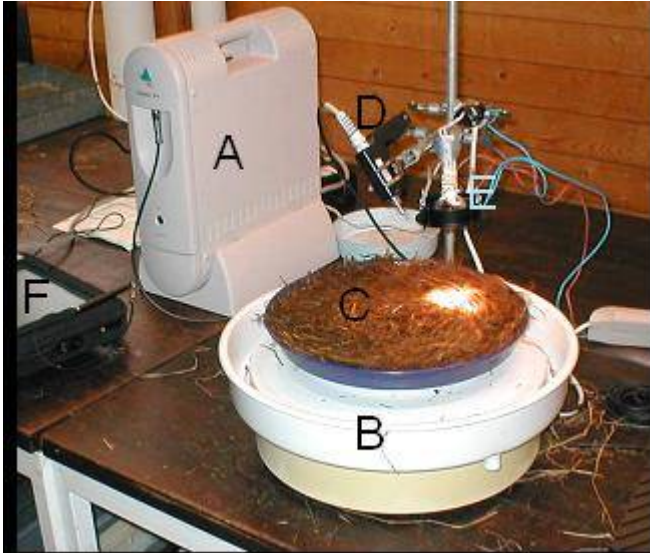
Instället slumpades en dummyvariabel mellan -1 och 1. Denna dummyvariabel modellerades från hela NIR-spektrumet med PLS. Det modellerade värdet för varje spektrum fick sedan representera hela spektrumet. På detta sätt kunde medelvärdet av 2 till 20 slumpvis valda spektra i varje omgång beräknas. Därmed kunde också standardavvikelsen mellan medelvärdena av de 2-20 skanningar från de tio omgångarna i respektive upprepning beräknas (figur 4). När denna standardavvikelse inte längre sjunker ansågs medelvärdet vara stabilt och antalet nödvändiga upprepningar fastställt.

Med bara två skanningar blev osäkerheten ca 75 % större med CP än med BF, som mätte en ca 50 ggr större area, men skillnaden sjunker med många delspektra. Det är däremot ingen större skillnad för vid vilket antal delspektra som medelvärdet stabiliseras. Knappt 15 delspektra gäller oberoende av prob (figur 4).



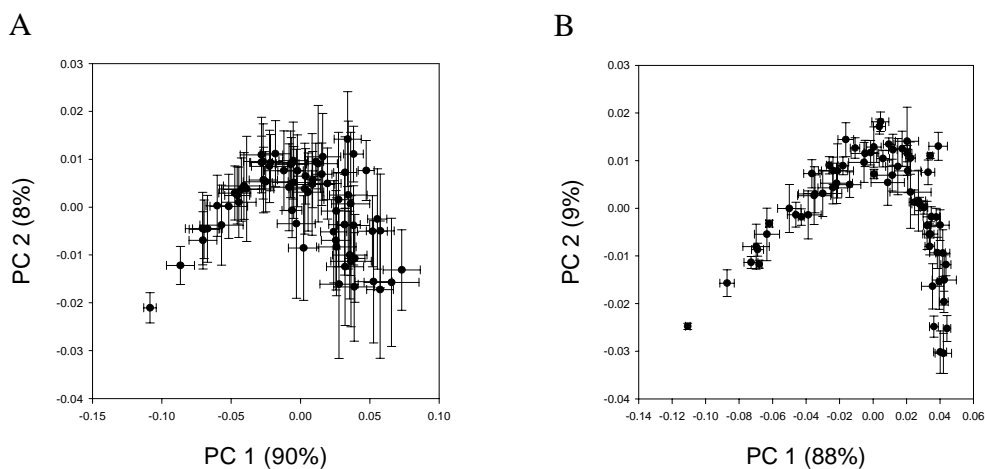
Figur 4. Tjugo spektrum mätta i tre delprov (olika symboler) i tio omgångar med två olika prober (BF0 = bar fiber och CP0 = kontaktprob) i ensilage utan ytterligare hackning. Varje spektrum fick prediktera en dummyvariabel. Spridningen mellan medelvärdena av de predikterade värdena i det tio omgångarna användes för att analysera reproducerbarheten. X-axeln: Antal av de tjugo spektrumet som har använts för att beräkna medelvärde av dummyvariabeln (2-20) i varje omgång. Y-axeln: Standardavvikelsen av de tio beräknade medelvärdena. Olika symboler anger de tre delproven.

Trots att antalet delspektrum inte behöver vara fullt 20 kräver metoden en relativt stor arbetsinsats och blir svår att automatisera. Vi ville därför utveckla en provpresentatör som kan analysera ett prov under rörelse i ett flöde med en relativt stor mätarea och därigenom ge ett representativt spektrum med minsta möjliga arbetsinsats både i laboratoriet och i en process. En prototyp togs fram där vinklarna mellan belysning, fiberprob och prov plagierades från kontaktproben, men avståndet ökades till tio cm från provet för både fiberproben och en 20W halogen tungstenlampa med aluminiumreflektor och stabil ljusbild genom hela sin livslängd. Lampa och prob placerades ovanför en enkel bordsdrejskiva med reglerbar rotationshastighet (figur 5). Med det roterande provet använde vi ett medelvärde av 100 skanningar. Provet placerades på en bricka med 30 cm diameter som roterade med ca 0,4 varv per s. Provarean blev därmed ca 375 cm² och mättes fyra gånger. Denna uppställning skulle relativt enkelt kunna överföras till mätning på prov som passerar proben på ett transportband eller liknande.

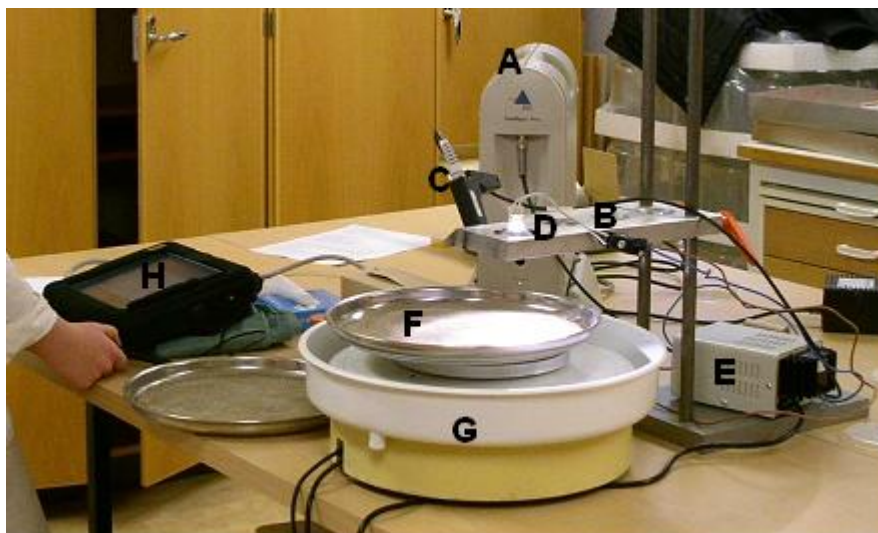


Figur 5. Uppställning för NIR-analys med ensilageprov (C) roterande på snurrbord (B) och fristående fiberoptisk prob (D) och ljuskälla (E) för fjärranalys på kort avstånd. NIR-instrument (A), dator för loggning (F). Prototyp. (Foto: Bo Stenberg)

I en jämförelse mellan analys på det rörliga provet och med CP blev medel-spektrumen för 4 respektive 20 upprepningar av de 69 gårdsproven från 2004 mycket lika, men reproducerbarheten var betydligt bättre för det snurrande provet (figur 6). Det visade sig också att felet vid prediktion av ensilagens kvalitetsparametrar blev endast 1-4 % större med det roterande provet. Orsaken till att felet blev något större med det rörliga provet än med kontaktprob var sannolikt att det var något svårare att kontrollera avståndet mellan prob och provyta med det roterande provet eftersom ensilaget var spretigt i varierande grad. Detta går att avhjälpa med hjälp av en glasskiva som trycker ned provet till en enhetlig och given nivå. Därmed skulle det vara möjligt att kombinera hög effektivitet med stor precision i provpresentationen. Den färdigkonstruerade proben visas i figur 7. Denna användes sedan för den slutliga analysen av proverna från databasen.



Figur 6. Principalkomponent 1 och 2 för de 69 gårdsproven från 2004 med medelvärde och standardavvikelse mätt med kontaktprob (A) och roterande prov (B). N=69



Figur 7. Färdigkonstruerad uppställning med roterande prov. NIR-instrument (A). Fixtur (B) för fast montering av fiberoptisk prob (C) och ljuskälla, hallogen tungsten (D) 20W och 12 V från stabiliserad likriktande transformator (E). Provet (F, här jord) roterar på snurrbordet (G, drejskiva). Data lagras i en ruggad tabletdator (H). Foto: Bo stenberg

Prediktion av kvalitetsparametrar med NIR och NIT

Vid en jämförelse av samtliga tekniker för förbehandling av data för alla parametrar konstaterades att skillnaderna var generellt små. Endast den förbehandling som fungerade bäst redovisas i tabell 3 och 4. Detsamma gäller vilket våglängdsområde som använts. Antingen fungerade NIR (970-2500 nm) bäst eller NIR kombinerat med synligt (400-970 nm). I endast ett fall var enbart synligt bäst, men ändå inte särskilt bra (tabell 3). Den mesta informationen finns alltså i NIR-området, men kompletteras i vissa fall av synligt.

Tabell 3. Bästa resultat med Vis/NIR-prediktioner från 69 prover från gårdar i norra Sverige 2004.

| Parameter | Våta prover 1:a derivata | | | | Torkade och malda prover SNV dt | | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------|------------|-----|---------------------------------|----------------|------------|-----|
| | Intervall | R ² | RMSEC V | RPD | Interval I | R ² | RMSE CV | RPD |
| TS ¹ | NIR-2 | 0,944 | 2,06 | 5,1 | – | – | – | – |
| VOS ² | NIR | 0,278 | 5,50 | 1,2 | NIR | 0,385 | 5,25 | 1,2 |
| RP ³ | vNIR | 0,719 | 1,36 | 1,9 | NIR | 0,934 | 0,66 | 3,9 |
| LP ⁴ | vNIR | 0,640 | 5,44 | 1,7 | NIR | 0,815 | 3,88 | 2,3 |
| NDF ³ | NIR-2 | 0,447 | 3,28 | 1,3 | NIR-1 | 0,823 | 1,77 | 2,5 |
| ADF ³ | NIR | 0,513 | 2,22 | 1,4 | NIR | 0,726 | 1,66 | 1,9 |
| Socker ³ | NIR | 0,646 | 2,88 | 1,7 | NIR | 0,817 | 2,08 | 2,4 |
| Laktat ³ | vNIR | 0,731 | 1,39 | 1,9 | NIR | 0,710 | 1,45 | 1,9 |
| Acetat ³ | NIR | 0,487 | 0,46 | 1,4 | NIR | 0,423 | 0,50 | 1,3 |
| Ammonium-N ⁴ | vNIR | 0,244 | 1,84 | 1,1 | NIR | 0,337 | 1,80 | 1,2 |

¹ Viktprocent av fodret, ² Procent av organisk substans, ³ Procent av TS, ⁴ Procent av RP
 TS=Torrs substans, VOS=Vomlöslig organisk substans, RP=Råprotein, LP=Lösligt protein,
 NDF=Neutral Detergent Fibre, ADF=Acid detergent fibre
 NIR=NIR-området 1000-2500 nm, vNIR=det synliga och NIR-området 400-2500 nm

För både NIR- och NIT-kalibreringarna av färskt material skiljer det generellt mycket i prediktionsförmåga mellan det mycket diversa materialet från 2004 och det mer enhetliga från 2005 (tabell 3, 4 och 5, figur 8 och 9). Det mest utpräglade undantaget är torrs substansen som predikteras mycket väl i samtliga fall, men med NIR 2005 görs detta bäst med bara två våglängder (tabell 4). Med dessa våglängder predikterades TS 2004 nästan lika bra som med hela NIR-området ($r^2=0,94$ och $RMSECV=2,17\%$). För NIR är TS-kalibreringarna utmärkta enligt RPD-värdena och för NIT bra.

Tabell 4. Bästa resultat av Vis/NIR-prediktioner av 59 ensilageprover från konsumtionsstudien 2005.

| Parameter | Våta prover 2:a derivatan | | | | Torkade och malda prover SNV dt | | | |
|-------------------------|---------------------------|----------------|--------|-----|---------------------------------|----------------|--------|-----|
| | Intervall | R ² | RMSECV | RPD | Intervall | R ² | RMSECV | RPD |
| TS ¹ | 1910, 2044 | 0,981 | 1,72 | 7,3 | – | – | – | – |
| VOS ² | NIR | 0,793 | 1,66 | 2,2 | vNIR | 0,861 | 1,37 | 2,7 |
| RP ³ | NIR** | 0,930 | 0,67 | 3,7 | NIR | 0,953 | 0,56 | 4,5 |
| LP ⁴ | NIR** | 0,835 | 2,63 | 2,5 | NIR | 0,904 | 2,05 | 3,2 |
| NDF ³ | NIR** | 0,896 | 2,02 | 3,1 | vNIR | 0,945 | 1,49 | 4,2 |
| ADF ³ | NIR | 0,761 | 1,80 | 2,1 | NIR | 0,789 | 1,75 | 2,2 |
| Socket ³ | vNIR | 0,522 | 1,35 | 1,4 | NIR | 0,487 | 1,39 | 1,4 |
| NDFD ⁵ | vNIR | 0,446 | 2,84 | 1,3 | vNIR | 0,425 | 2,90 | 1,3 |
| Laktat ³ | vNIR | 0,867 | 0,91 | 2,8 | NIR | 0,846 | 1,01 | 2,5 |
| Acetat ³ | NIR | 0,818 | 0,34 | 2,4 | NIR | 0,821 | 0,34 | 2,4 |
| Ammonium-N ⁴ | Vis-1 | 0,512 | 1,39 | 1,4 | Vis-1 | 0,553 | 1,39 | 1,4 |
| Konsumtion ⁶ | NIR | 0,507 | 1,37 | 1,2 | NIR | 0,358 | 1,62 | 1,0 |

** Första derivatan. ¹ Viktprocent av fodret, ² Procent av organisk substans, ³ Procent av TS, ⁴ Procent av RP, ⁵ Smältbarhet av NDF, ⁶ kg TS ensilage per ko och dag

Se tabell 3 för förklaringar av förkortningar.

NIT-analyserna (tabell 5) har genomgående gett ett sämre resultat än analys med NIR. Det är bara VOS, RP, NDF, laktat och acetat som klarar gränsen för användbar 2005. Att NIT-mätning överlag gav ett sämre resultat än NIR var inte oväntat. Detta eftersom det kommersiella instrument som användes arbetar med endast 14 fasta våglängder, där de använda våglängderna valts ut för att kunna mäta vattenhalt och protein i spannmål. Instrumentet har således inte på något sätt optimerats för att kunna mäta de önskade parametrarna i ensilage. Användning av en annan kombination av våglängder, skulle därför mycket väl kunna ha gett ett avsevärt bättre resultat.

För NIR 2004 är det bara RP och laktat som klarar användbarhetsgränsen, men för 2005 betecknas RP och NDF som bra, VOS, LP, laktat och acetat som ganska bra och ADF som användbar. Socket, NDFD, ammonium och konsumtion fungerar dåligt. I en jämförelse för några av parametrarna med torkade och malda prov, som motsvarar förfarandet på kommersiella laboratorier, är resultaten för torkade och malda prov med något undantag betydligt bättre. För 2005 är RMSECV-värdena för VOS, RP och NDF, som mest frekvent återfinns i litteraturen, fullt jämförbart med andra studier (Roberts *et al.*, 2004). För 2004 är resultaten något sämre och för VOS betydligt sämre. Denna skillnad för torkade prov återspeglar sannolikt den stora diversitet som finns i materialet från 2004. I kombination med det relativt lilla antalet referensprover (69) blev interpoleringsstegen i många fall för stora. I materialet från 2005 var detta problem inte så påtagligt.

Tabell 5. Bästa resultat av NIT prediktioner.

| Parameter | Prover från gårdar i norra Sverige Referensdata, 69 prover 2004 | | | | Prover från konsumtionsstudien Referensdata, 59 prover 2005 | | | |
|-------------------------|--|----------------|--------|-----|--|----------------|--------|-----|
| | Method | R ² | RMSECV | RPD | Method | R ² | RMSECV | RPD |
| TS ¹ | PLS-1 | 0,912 | 2,79 | 3,8 | MLR | 0,945 | 2,94 | 4,3 |
| VOS ² | PLS | 0,171 | 5,92 | 1,1 | PLS-2 | 0,706 | 1,99 | 1,9 |
| RP ³ | MLR | 0,414 | 2,01 | 1,3 | PLS-2 | 0,694 | 1,43 | 1,7 |
| LP ⁴ | PLS | 0,278 | 7,64 | 1,2 | PLS | 0,616 | 4,08 | 1,6 |
| NDF ³ | PLS | 0,000 | 4,48 | 1,0 | MLR | 0,714 | 3,41 | 1,8 |
| ADF ³ | PLS | 0,124 | 2,95 | 1,1 | PLS | 0,462 | 2,74 | 1,4 |
| Socket ³ | PLS | 0,496 | 3,47 | 1,4 | PLS | 0,416 | 1,46 | 1,3 |
| NDFD ⁵ | – | – | – | – | PLS | 0,360 | 2,97 | 1,2 |
| Laktat ³ | MLR | 0,585 | 1,77 | 1,5 | PLS | 0,700 | 1,38 | 1,8 |
| Acetat ³ | PLS | 0,384 | 0,51 | 1,3 | PLS-2 | 0,678 | 0,46 | 1,8 |
| Ammonium-N ⁴ | PLS | 0,225 | 1,87 | 1,1 | MLR-1 | 0,299 | 1,75 | 1,1 |
| Konsumtion ⁶ | – | – | – | – | MLR | 0,368 | 1,61 | 1,1 |

¹ Viktprocent av fodret, ² Procent av organisk substans, ³ Procent av TS, ⁴ Procent av RP,

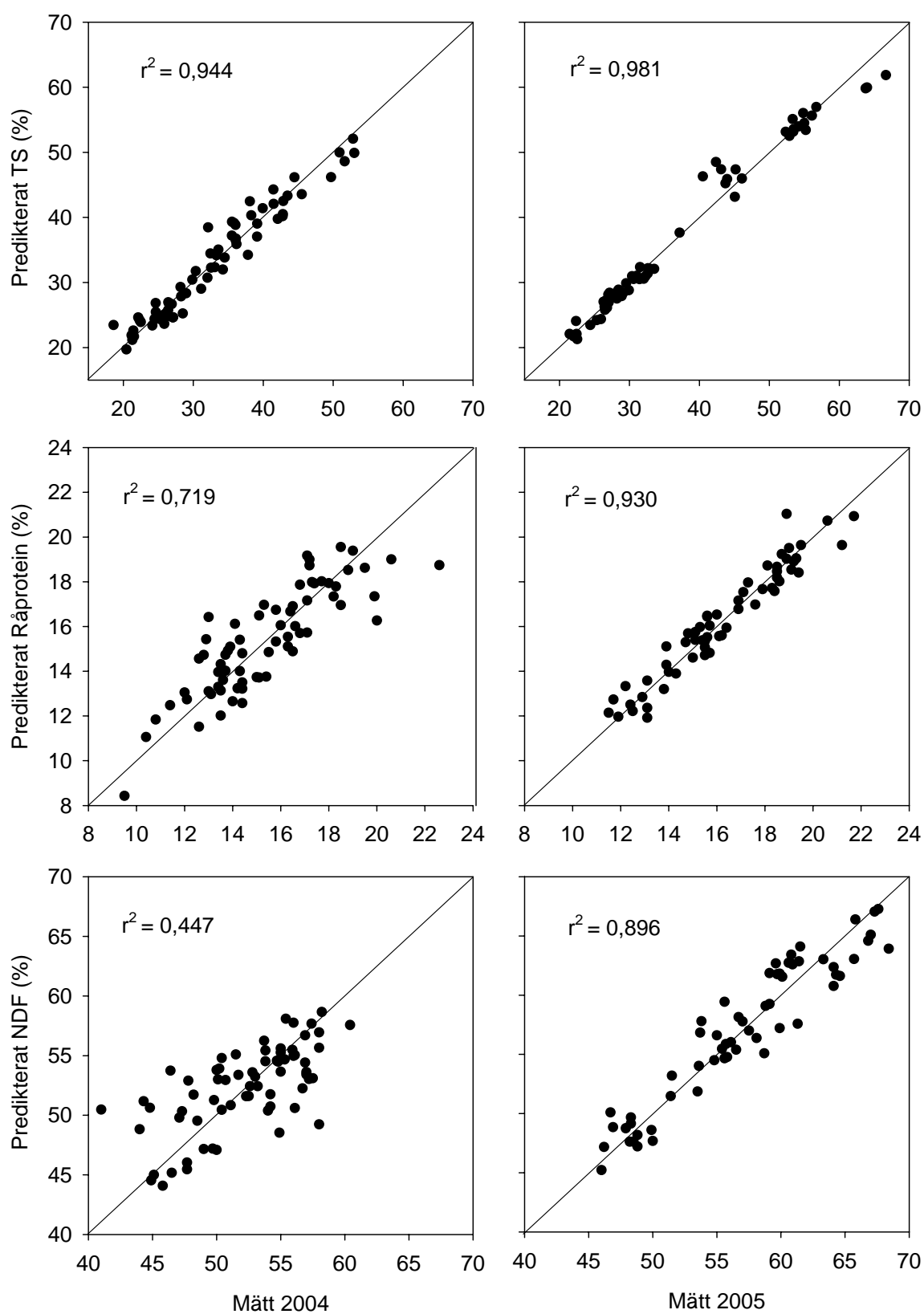
⁵ Smältbarhet av NDF, ⁶ kg TS ensilage per ko och dag

PLS=Partial Least Squares, MLR=Multiple Linear Regression, i övrigt se tabell 3.

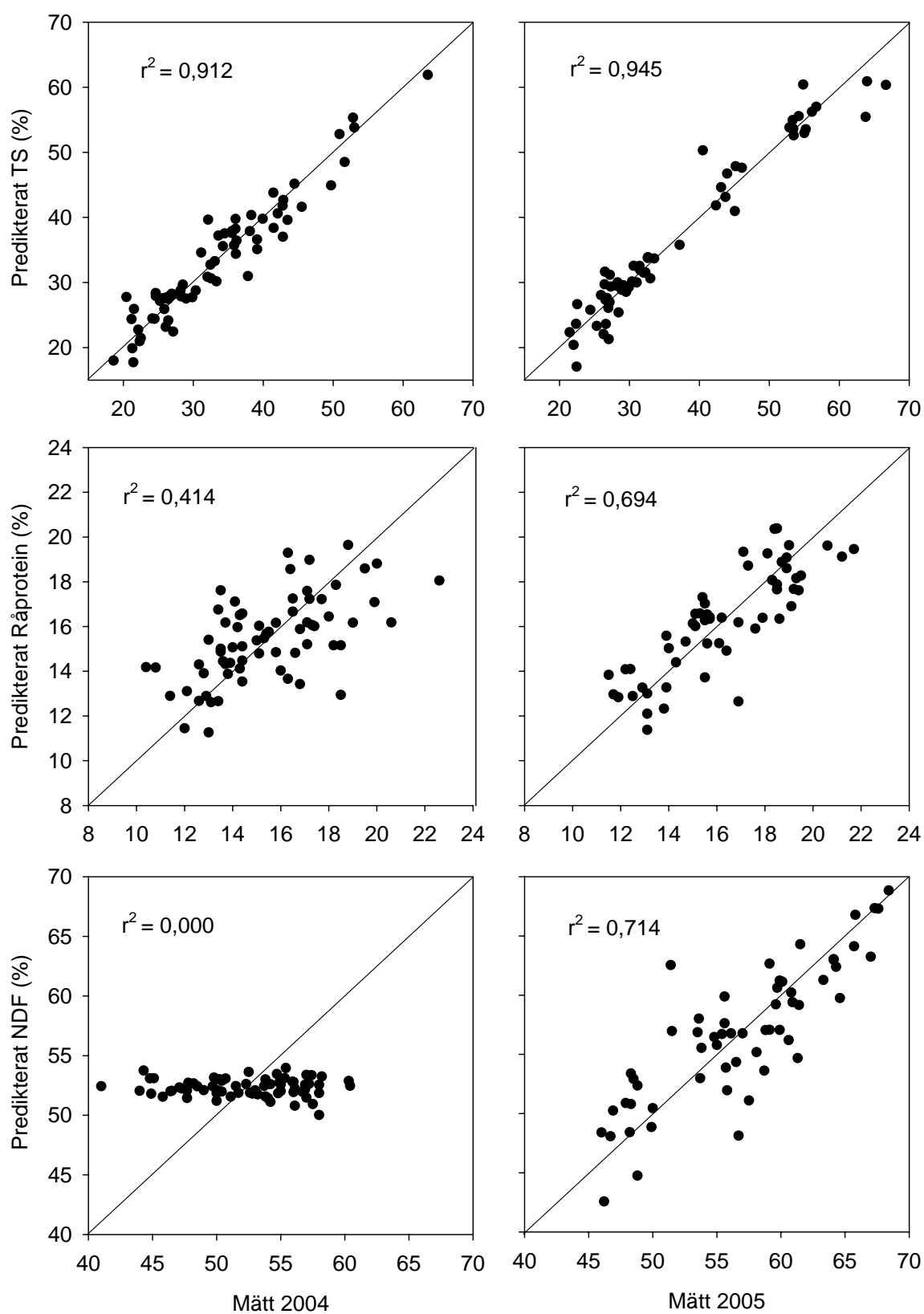
Protein var den parameter som förutom TS mest stabilt kunde predikteras med nära infraröd spektroskopi, vilket är i överensstämmelse med vad som är normalt vid vallfoderanalys med NIR. Detta hänger samman med att amidbindningar absorberar starkt i NIR-området och att mängden protein på så vis mäts direkt (Roberts *et al.*, 2004). Flera av de andra parametrarna som fiberfraktioner, smältbar energi, etc. är snarare egenskaper än komponenter och analyseras därför indirekt. VOS är dessutom starkt påverkad av biologisk variation i referensmetoden, varför en i jämförelse med andra parametrar större andel av det totala felet i kalibreringarna sannolikt kan relateras till referensmetoden.

Att det är svårare att göra bra prediktioner i färskt material än i torkat och malt är uppenbart och förväntat. Att en variabel vattenhalt eller vattnet i sig till stor del är orsak till detta visades av att enbart torkning av färskt prov minskade skillnaden till torkat och malt med omkring 50 % (43-68 %). I den utsträckning en variabel vattenhalt är orsaken kan fler referensprov hjälpa till en del. Att begränsa användningen till prover torrare än t.ex. 30 % TS skulle också kunna vara en lösning. Vi kunde i detta material se en antydning till detta, men eftersom antalet prov då reducerades ytterligare blev kalibreringarna osäkra av den orsaken.

Gör man istället avkall på möjligheten till on-line analys på gården och enbart torkar representativa prov skulle man också kunna få säkrare analyser av i första hand protein och fibrer. Hackning av proverna hjälper däremot inte, eftersom enbart hackning av proven till enhetlig strållängd för alla prov (ca 4 cm) genomgående försämrade resultaten. En trolig orsak är att hackningen smetar proven och gör dem vattnigare, vilket stör eftersom fritt vatten absorberar mycket starkt. Hackning eller malning måste alltså kombineras med torkning, men inte tvärt om.



Figur 8. Korrelation mellan genom korsvalidering predikterad TS, råprotein och NDF utifrån NIR-data från färskt ensilage enligt tabell 3 och 4.



Figur 9. Korrelation mellan genom korsvalidering predikterad TS, råprotein och NDF utifrån NIT-data från färskt ensilage enligt tabell 5.

Prediktion av konsumtion med hjälp av spektrala data

Resultaten visar klart att det finns en betydelsefull daglig variation i konsumtionen av ensilage både inom och mellan partier (figur 10). Studien visar också att variationen i konsumtion var betydligt större vid utfodring av rundbalsensilage i förhållande till ensilage från plansilo. Vi fann att det går att prediktera konsumtionen med hjälp analyser av ensilaget i kombination med djurvariabler, t.ex. laktationsvecka och levande vikt (tabell 6 och figur 10).

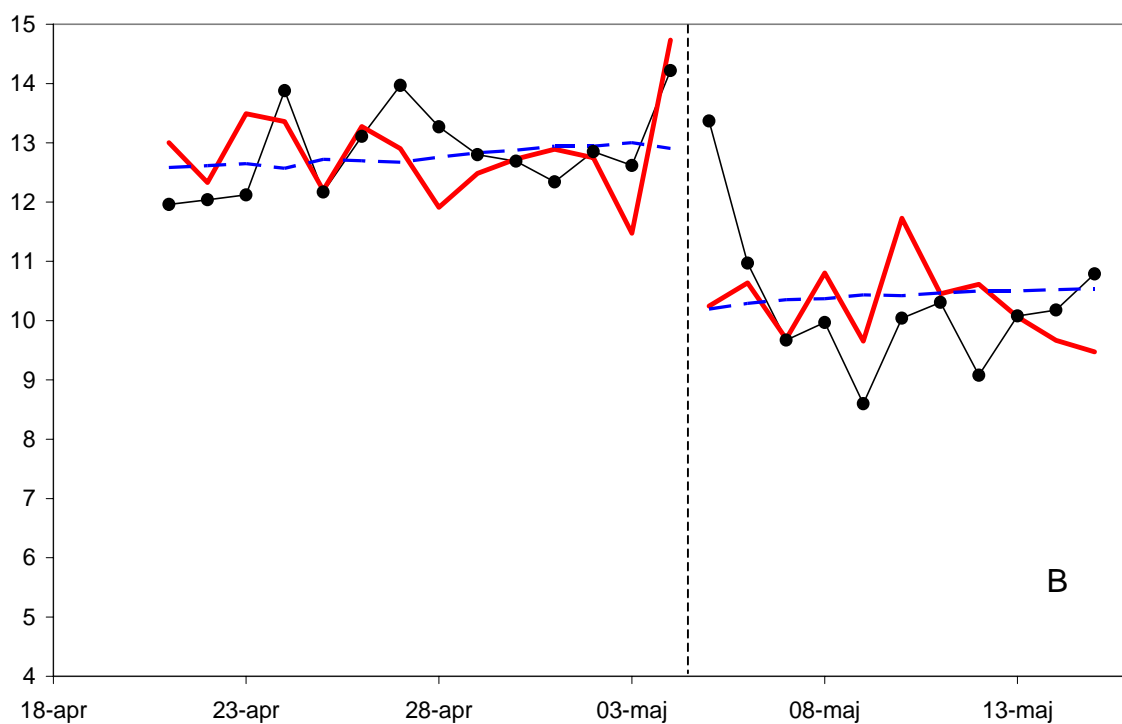
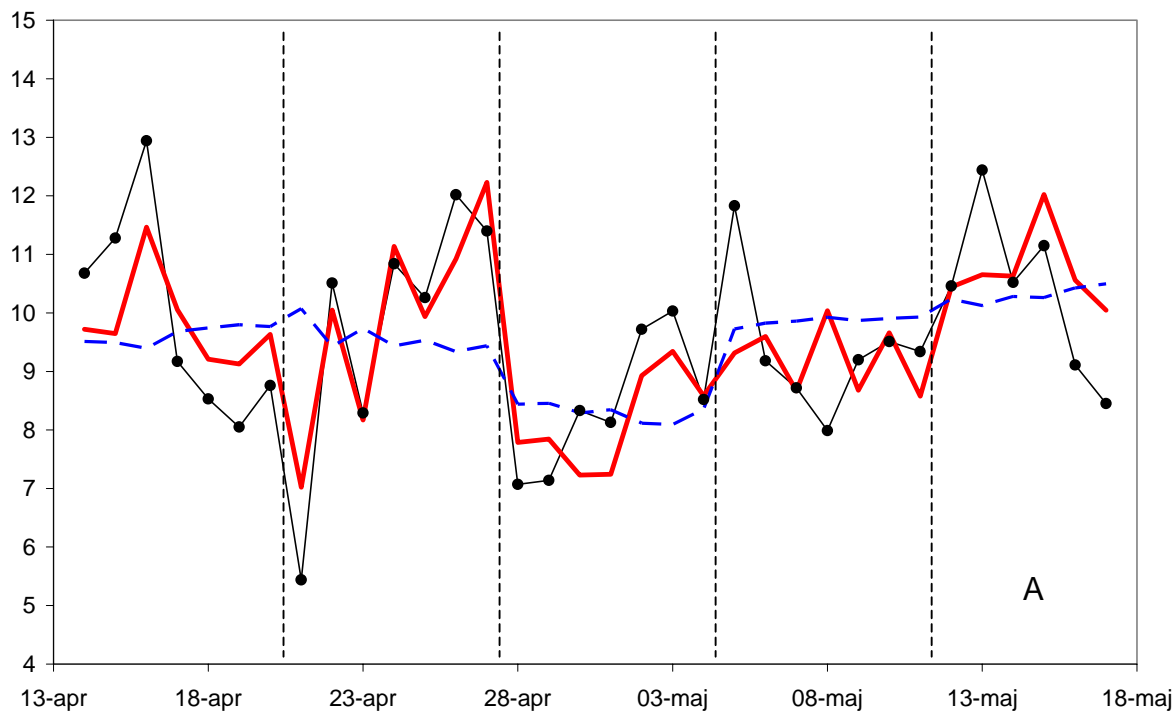
Tabell 6. Resultat av korsvaliderade modeller för prediktion av konsumtionen (kg TS/ko/dag) med olika analysmetoder från konsumtionsstudien. Modellerna är framtagna med stegvis multipel linjär regression (MLR).

| Modell | Analysfrekvens(n) | Analysmetod | Parametrar | R ² | RMSECV |
|--------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------|--------|
| I | Daglig (59) | Våtkemiskt och in vitro | LV, TS och VOS | 0,638 | 1,17 |
| II | En per parti (7) ¹ | Våtkemiskt och in vitro | LV, TS och VOS | 0,464 | 1,43 |
| III | Daglig (59) | NIR färsktprov | LV, TS(NIR) och VOS(NIR) | 0,579 | 1,27 |
| IV | Daglig (59) | NIT färsktprov | LV, TS (NIT) och VOS (NIT) | 0,534 | 1,33 |
| V | Daglig (59) | NIR färsktprov | LV, och PCA ² | 0,598 | 1,23 |
| VI | Daglig (59) | visNIR färsktprov | Levande vikt, LV och PCA ² | 0,702 | 1,06 |
| VII | Daglig (59) | NIR torkat och malt | LV och PCA ² | 0,489 | 1,39 |
| VIII | Daglig (59) | visNIR torkat och malt | LV och PCA ² | 0,555 | 1,30 |
| IX | Daglig (59) | NIT färsktprov | LV och PCA ² | 0,553 | 1,30 |

LV= Laktationsvecka, TS=Torrsubstans, VOS=Vomlöslig organisk substans, (NIR/NIT)=parameter bestämd med NIR/NIT

¹ Medelvärde av de dagliga analyserna, ² Principalkomponenter av spektrala data

Jämförelserna av olika modeller och analysfrekvenser i tabell 6 och figur 10 visar att prediktionerna blir betydligt bättre om man har tillgång till dagliga analyser (t.ex. en analys per bal) i förhållande till om man utnyttjar en analys per parti ensilage. Vid den jämförelsen bör man uppmärksamma att de periodmedelvärden som vi har använt i modell II är betydligt mer representativa för partierna av ensilage i förhållande till de analyser som finns tillgängliga på kommersiella gårdar. I jämförelsen av modeller finner man även att modellerna som bygger på NIR-data av färskt ensilage ger lika bra prediktioner av konsumtionen i förhållande till modell I som bygger på våtkemiskt mätta parametrar. Det är till och med så att där NIR-data använts i modellen direkt utan att först prediktera referensparametrar (modell VI) är resultatet något bättre. Dessa observationer gäller endast NIR-analys på färskt ensilage, med all säkerhet eftersom TS är en viktig parameter. Resultaten stämmer väl överens med appliceringen av NIR-teknik i det nya fodervärderingssystemet Feed into Milk i Storbritannien. Systemet använder tekniken för att beräkna konsumtionspotentialen hos ensilage (Keady *et al.*, 2004). Med möjlighet till dagliga analyser av grovfodrets sammansättning kan utnyttjandet av ensilage i utfodringen förbättras och våra resultat visar att med tillgång till NIR-teknik i produktionen skulle detta kunna göras möjligt.



Figur 10. Daglig konsumtion (kg TS/ko/dag) (●) av rundbalsensilage (A) och plansilensilage (B). Helt dragen röd linje visar predikerad konsumtion med modell VI i tabell 6 (daglig analys med NIR) och streckad blå linje visar prediktionen med modell II i tabell 6 (en referensanalys per parti). De vertikala streckade linjerna visar byte från ett foderparti till ett annat.

Möjligheter till kvalitetsanalys i samband med utfodringen

Utvecklingen av sensorer i jordbruket går snabbt. Det finns idag kommersiella NIR instrument som är placerade på skördemaskiner, till exempel självgående exakthackar. Dessa instrument mäter i första hand TS-halten i den färska grödan och används för att uppskatta skördemängderna i realtid under skörd på åkern. Tekniken används i kombination med GPS-navigering för att göra detaljerade skördekartor av kommersiella vallar och även vid sortprovning av vallväxter i vetenskapliga sammanhang. Det finns bedömningar som visar att en noggrannhet på ± 2 procent i förhållande till den sanna TS-halten är möjlig att uppnå med NIR-instrument applicerade på en fälthack.

För en effektiv utfodring vid mjölk- och köttproduktion är man i första hand intresserad av ensilagens TS-halt vid utfodring och inte vid inläggning. Eftersom ensileringsprocessen kraftigt förändrar fodrets sammansättning och även TS-halt, finns det ett behov av att mäta kvaliteten på fodret i samband med utfodring. En framkomlig väg för att utvärdera kostnadseffektiviteten av TS-mätning i ensilage i realtid är att göra modifieringar av de instrument som är anpassade för applicering på fältmaskiner och placera dem på en bandfoderfördelare eller avlastarbord i en försöksladugård. Informationen skall i första hand användas för att minska variationen i sammansättningen av fullfoderblandningar från dag till dag.

Nästa steg i utvecklingen är att modifiera instrumenten och skapa kalibreringsdata så att instrumenten även kan analysera andra kvalitetsparametrar, såsom råprotein och NDF. Med hjälp av dessa on-line analyser skulle det finnas möjlighet att inte bara försöka ha en homogen sammansättning på foderstaten från dag till dag, utan även optimera sammansättningen för att maximera konsumtionen.

Slutsatser

Torrsubstanshalt går mycket bra att bestämma med både NIT och NIR. Med NIR förefaller det tillräckligt att använda endast två våglängdsband (1910 och 2044 nm), vilket torde göra det möjligt att konstruera en relativt billig TS-mätare med höga prestanda och stor effektivitet.

NIR-analyser är med de i studien givna instrumenten genomgående mer användbara för kvalitetsanalys av färskt ensilage än NIT-analys. Skillnaden är dock inte så stor för TS-bestämning.

För ensilage med begränsad variation i fenologisk utveckling och botanisk sammansättning är det möjligt att med NIR-analys bestämma i första hand RP och NDF, men även VOS, LP, laktat och acetat fungerar ganska bra. Socker, NDFD och ammoniumkväve fungerar dåligt medan ADF intar en mellanställning.

Konsumtionen går dåligt att prediktera med NIR enbart. Däremot går det med ganska stor precision att prediktera konsumtionen med en kombination av djurdata och analyser av ensilagekvalitet. NIR-data från färskt ensilage i detta sammanhang fungerar lika bra eller till och med bättre än våtkemiskt bestämda kvalitetsparametrar.

Alltför stor spridning, framförallt i fenologisk utveckling och botanisk sammansättning, försvårar kalibreringsförfarandet av kvalitetsparametrar och ger sämre prediktionsmodeller. Våra resultat tyder dock på att en större referensdatabas skulle kunna förbättra resultaten, men också på att NIR/NIT inte medger analys av alltför blött ensilage.

NIR-tekniken medger analys av ensilage on-line i och med att det kan ske utan beröring och under det att ensilaget är i rörelse. För att skapa möjligheter för kommersiell applicering av tekniken on-line i grovfoderkedjan krävs fortsatta studier med tyngdpunkt på provpresentation och uppbyggnad av kalibreringsmodeller.

Referenser

- Barnes, R. J., Dhanoa, M. S. & Lister, S. J. 1993. Correction to the description of Standard Normal Variate (SNV) and De-Trend (DT) transformations in Practical Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis - 2nd edition. *J. Near Infrared Spectrosc.* 1, 185-186.
- Gustafsson, A H., Volden, H., Mehlqvist, Larsen, M. Gudmundsson, G. & Aaes O. 2005. NorForTM - the new Nordic feed evaluation system for cattle. *Article from the 56 Annual meeting of the European Association for Animal Production, Uppsala, Sweden, June 2005.* 1-8.
- Keady, T. W. J. Mayne, S. Offer, N. W. and Tomas, C. 2004. Prediction of voluntary feed intake. In *Feed into milk a new applied feeding system for dairy cows Advisory manual* Mimeo pp 68.
- Malley, D.F., Martin, P.D. & Ben-Dor, E. 2004. Applications in analysis of soil. In: Roberts, C. A., Workman Jr, J. & Reeves III, J. B. (eds.) *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture.* 729, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Martens, H. & Naes, T. 1989. *Multivariate calibration.* John Wiley & Sons, Chichester, UK, 419 pp.
- Reeves J.B., Blosser T.H. & Colenbrander V.F. 1989. Near-infrared reflectance spectroscopy for analyzing undried silage. *J. Dairy Sci.* 72, 79-88.
- Roberts, C. A., Stuth, J. & Flinn, P. 2004. Analysis of Forages and Feedstuffs. In: Roberts, C. A., Workman Jr, J. & Reeves III, J. B. (eds.) *Near-Infrared Spectroscopy in Agriculture.* 321, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Steen R.W.J., Gordon F.J., Dawson L.E.R., Park R.S., Mayne C.S., Agnew R.E., Kilpatrick D.J. & Porter M.G. 1998. Factors affecting the intake of grass silage by cattle and prediction of silage intake. *Animal Science* 66, 115-127.
- Wold, S., Albano, C., Dunn III, W. J., Esbensen, K., Geladi, P., Hellberg, S., Johansson, E., Lindberg, W., Sjöström, M., Skagerberg, B., Wikström, C. & Öhman, J. 1985. *Multivariate data analysis: Converting chemical data tables to plots.* VII:th International Conference on Computers in Chemical Research and Education. Garmisch-Partenkirchen, FRG.

Bilaga 1. Korrelationstabell (r) över resultaten av analyserna av 69 prover från gårdar i norra Sverige 2004. r^2 över 0,5 i fetstil.

| | ts | VOS | IVTD | CP | SP % CP | SP % TS | NDF | ADF | NDFD % TS | NDFD % NDF | Socker | Laktat | Acetat | NH4 % N |
|-----------|--------------|-------|-------------|-------------|-------------|------------|-------|-------|--------------|---------------|--------|-------------|--------|-------------|
| ts | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| VOS | -0.18 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| IVTD | -0.13 | 0.61 | 1 | | | | | | | | | | | |
| CP | -0.37 | 0.08 | 0.26 | 1 | | | | | | | | | | |
| SP % CP | -0.28 | 0.21 | 0.34 | 0.27 | 1 | | | | | | | | | |
| SP % TS | -0.37 | 0.18 | 0.39 | 0.78 | 0.80 | 1 | | | | | | | | |
| NDF | 0.17 | -0.22 | -0.56 | -0.39 | -0.10 | -0.30 | 1 | | | | | | | |
| ADF | -0.02 | -0.49 | -0.61 | -0.24 | -0.26 | -0.33 | 0.60 | 1 | | | | | | |
| NDFD %ts | 0.07 | 0.39 | 0.39 | -0.15 | 0.23 | 0.06 | 0.53 | 0.04 | 1 | | | | | |
| NDFD %NDF | -0.04 | 0.62 | 0.88 | 0.12 | 0.35 | 0.31 | -0.14 | -0.42 | 0.76 | 1 | | | | |
| Socker | 0.60 | 0.15 | 0.19 | -0.38 | 0.02 | -0.20 | -0.10 | -0.47 | 0.10 | 0.21 | 1 | | | |
| Laktat | -0.77 | 0.13 | 0.05 | 0.39 | 0.23 | 0.37 | -0.15 | 0.08 | -0.14 | -0.05 | -0.67 | 1 | | |
| Acetat | -0.68 | 0.00 | -0.06 | 0.29 | 0.07 | 0.20 | -0.09 | 0.20 | -0.17 | -0.15 | -0.69 | 0.76 | 1 | |
| NH4 % N | -0.43 | -0.21 | -0.23 | 0.36 | 0.25 | 0.38 | -0.02 | 0.21 | -0.28 | -0.32 | -0.48 | 0.57 | 0.55 | 1 |
| NH4 % TS | -0.60 | -0.17 | -0.10 | 0.64 | 0.29 | 0.58 | -0.17 | 0.07 | -0.30 | -0.23 | -0.49 | 0.58 | 0.53 | 0.94 |

För förklaring av förkortningar och enheter se tabell 1.

Bilaga 2. Korrelationstabell (r) över referensdata från de 59 ensilageproverna från konsumtionsstudien 2005. r^2 över 0,5 i fetstil.

| | ts | VOS | IVTD | CP | SP % CP | SP % TS | NDF | ADF | NDFD % TS | NDFD % NDF | Socker | Laktat | Acetat | NH4 % N | NH4 % TS |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------|--------|--------|-------------|-------------|
| ts | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| VOS | -0.69 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| IVTD | -0.66 | 0.81 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| CP | -0.78 | 0.56 | 0.68 | 1 | | | | | | | | | | | |
| SP % CP | -0.66 | 0.10 | 0.22 | 0.62 | 1 | | | | | | | | | | |
| SP % TS | -0.79 | 0.37 | 0.51 | 0.92 | 0.86 | 1 | | | | | | | | | |
| NDF | 0.71 | -0.82 | -0.80 | -0.73 | -0.18 | -0.53 | 1 | | | | | | | | |
| ADF | 0.54 | -0.75 | -0.79 | -0.70 | -0.10 | -0.48 | 0.91 | 1 | | | | | | | |
| NDFD %ts | -0.39 | 0.54 | 0.86 | 0.42 | 0.17 | 0.32 | -0.40 | -0.48 | 1 | | | | | | |
| NDFD %NDF | 0.40 | -0.41 | -0.14 | -0.39 | -0.04 | -0.27 | 0.70 | 0.55 | 0.37 | 1 | | | | | |
| Socker | 0.24 | 0.07 | 0.02 | -0.30 | -0.36 | -0.35 | -0.07 | -0.11 | -0.01 | -0.08 | 1 | | | | |
| Laktat | -0.79 | 0.85 | 0.77 | 0.72 | 0.33 | 0.59 | -0.87 | -0.78 | 0.46 | -0.53 | -0.09 | 1 | | | |
| Acetat | -0.54 | 0.41 | 0.43 | 0.68 | 0.49 | 0.65 | -0.50 | -0.48 | 0.27 | -0.30 | -0.31 | 0.68 | 1 | | |
| NH4 % N | -0.43 | 0.14 | 0.15 | 0.35 | 0.59 | 0.50 | 0.01 | 0.07 | 0.21 | 0.19 | -0.31 | 0.29 | 0.51 | 1 | |
| NH4 % TS | -0.60 | 0.24 | 0.31 | 0.60 | 0.73 | 0.72 | -0.18 | -0.13 | 0.30 | 0.06 | -0.35 | 0.43 | 0.64 | 0.95 | 1 |
| Konsumtion | -0.03 | 0.48 | 0.44 | 0.18 | -0.27 | -0.03 | -0.50 | -0.59 | 0.27 | -0.31 | 0.30 | 0.41 | 0.13 | -0.27 | -0.22 |

För förklaring av förkortningar och enheter se tabell 2.

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik...

... är ett industriforskningsinstitut som forskar, utvecklar och informerar inom områdena jordbruks- och miljöteknik samt arbetsmaskiner. Vårt arbete ger dig bättre beslutsunderlag, stärkt konkurrenskraft och klokare hushållning med naturresurserna.

Vi publicerar regelbundet notiser på vår webbplats om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Du får notiserna hemskickade gratis om du anmäler dig på www.jti.slu.se

På webbplatsen finns även publikationer som kan läsas och laddas hem gratis, t.ex.:

JTI-informerar, som kortfattat beskriver ny teknik, nya rön och nya metoder inom jordbruk och miljö (4-5 teman/år).

JTI-rapporter, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt.

Samtliga publikationer kan beställas i tryckt form. JTI-rapporterna och JTI-informerar kan beställas som lösnummer. Du kan också prenumerera på JTI-informerar.

*För trycksaksbeställningar, prenumerationsärenden m.m.,
kontakta vår publikationstjänst (SLU Service Publikationer):*

tfn 018 - 67 11 00, fax 018 - 67 35 00

e-post: bestallning@jti.se



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering

Box 7033, 750 07 UPPSALA Telefon: 018 - 30 33 00

Besöksadress: Ultunaallén 4 Telefax: 018 - 30 09 56

Webbplats: www.jti.se