

## Slutrapport för projekten, ”Utveckling av sortprovning av ensilagemajs, kvalitet och riskmanagement” och ”Utvärdering av MAISPROQ-modellen”

Mårten Hetta, Magnus Halling, Paul Geladi och Christian Swensson, Sveriges lantbruksuniversitet

*Projektet som helhet har haft fyra finansiärer Lantmännens forskningsstiftelse, Stiftelsen Lantbruksforskning och Partnerskap Alnarp samt SLU. Dessutom har projektet kompletterats med ett fortsättningsprojekt Utvärdering av MAISPROQ-modellen som finansierades mellan SLU, Partnerskap Alnarp och Lantmännens forskningsstiftelse. Då båda projekten har varit integrerade har vi valt att skriva en gemensam slutrapport.*

### Summary

The aim of this project was to create a basis for a decision support system (DSS) for growing silage maize, based on choice of cultivar and risk management. The work has involved the adaptation of a German-Swedish mechanistic growth model (MAISPROQ) for maize in combination with a new application of feed analyses using near-infrared light (NIR). In order to adapt the model to Swedish conditions and to create new NIR calibrations, the project has included the cultivation of reference materials in 2013-2014, sample handling, NIR and reference analysis, and modelling. The modelling has included multivariate models of morphology, quality and yield. In 2016 we worked with a validation project, when we validated the models and tested the methodology on the results from the regular variety test in six different locations in Sweden. The results show that the MAISPROQ model has the potential to predict the harvest quality and harvest date for maize in Sweden, but there is a need to evaluate other growth models. One example is APSIM, which can be easier to use for different climates and has the potential to be applied to crops other than maize. The multivariate modelling of NIR analyses show that we can better predict the nutritional value of corn and morphology based on NIR spectra, than the current models used in agriculture. The results of the validation project (validation against the variety testing) shows that the ranking of the varieties varies depending on the harvest time, analytical method and the model used. The project also highlights the need to improve the variety testing of maize in Sweden, something also maize breeders in Europe have suggested. During the project, we have collaborated with the reference group and communicated results and goals for stakeholders and researchers at seminars and workshops. We have published four scientific articles in "peer review" journals based on results of the project. In addition we, together with NJF, organized the international seminar "Maize in a cooler climate - from seed to feed held in Kristianstad September 24 to 25, 2014. The work shows that it is possible to combine spectral techniques with mechanistic growth models to rank maize varieties for yield, earliness and quality. In order to proceed with the work, we, along with businesses and farmers, will apply for innovation support, to create a DSS that combines growth models and spectral analysis that can be used in practical agriculture. During the project, we have managed to provide resources to continue to work on the concept. Among other things we have created long-term access to a modern hyperspectral instruments with advanced software and has funded a post-doc for another two years to work with material and results from the project. Thus we expect to be able to continue working with the DSS in the near future with the aim to create an application that can be used in practical agriculture.

## Bakgrund

Majs odlas främst i götalandregionerna och används i första hand som foder till mjölkkor. Majsens torktålighet, höga skörd och goda energivärde, gör grödan till ett attraktivt fodermedel. Ensilagemajs ska skördas vid en torrsubstans (TS)-halt på omkring 34 %, då är den mogen och har uppnått maximal skörd och kvalitet. Det är en utmaning både för lantbrukare och för försöksutförare att följa majsens mognad i fält, då varje sort utvecklas i sin takt och hastigheten på mognadet är årstidsberoende. Enligt statistik från svenska foderanalyser (2016) har majsen i medeltal en TS-halt på omkring 40 % hos lantbrukarna, vilket visar på att majsen skördats för sent överlag. Tittar man sen på den ordinarie sortprovningen har TS-halten legat betydligt högre på flera platser. En annan viktig del av sortprovningens uppgifter är att bestämma sorternas relativa tidighet. Då allt förädlingsarbete bedrivs på kontinenten och det finns interaktioner mellan genotyp och miljö för enskilda sorters mognad, finns det behov att skatta tidigheten även under svenska förhållanden. Skördar man för sent, kan man inte se skillnader mellan sorterna i tidighet, då alla sorter har passerat optimal mognad och förluster av biomassa har på börjats. Flera förädlare på kontinenten har uppmärksammat att vi i Sverige har en del brister i vår sortprovning och har börjat ifrågasätta värdet av att pröva majs i Sverige.

En möjlighet att hjälpa lantbrukare och utförare av sortprovning att skörda i tid är att ta hjälp av datormodeller som utifrån lokala väderdata predikterar majsens mognad i fält. En sådan modell är den tyska modellen MAISPROQ (Herrmann et al., 2005) som vi har testat och utvärderat i det här projektet. Modeller som predikterar tillväxt och kvalitet av majssorter kan även användas till att förutsäga hur sorterna skulle prestera på andra platser med andra klimat och väder. Med intelligent designade och väl genomförda sortförsök i kombination med matematiska modeller kan vi på sikt minska behovet av sortprovning i fält och ändå ha tillgång till lokala resultat och prognoser. För att MAISPROQ-modellen skall kunna användas som en applikation för det kommersiella lantbruket är det viktigt att den valideras mot ett oberoende material och testas mot andra modeller. En utmaning vid kvalitetsanalyser av majs är svårigheten att ta ut ett representativt prov av grödan. Studerar man den officiella sortprovningen, så ser man att halterna av stärkelse, fiber och TS ofta avviker från vad man kan förvänta utifrån växtmaterialets tidighet, mognad och skörd. Huvudelen av alla majsanalyser utom TS-halten, görs med multivariata modeller baserade på nära infrarött ljus (NIR) som är en snabb, indirekt metod att mäta kemiskt innehåll och näringsvärde. Metoden kräver dock att ett referensmaterial med våtkemiska analyser och graderingar i fält finns för att skapa kalibreringar för att prediktera mognad, morfologi och kvalitet. Om man sammanfattar hur sortprovning och beslutsstöd är uppbyggt internationellt kan man identifiera tre viktiga komponenter i) observationer av skörd och kvalitet i fält, ii) beräkning av fodervärdet (energiinnehåll) och iii) en riskmodul (DSS) för att förutsäga avkastning, fodervärde och skördedatum för enskilda sorter och platser beroende på odlingsbetingelser. I Sverige finns bara (i) och (ii) delvis utvecklade; m.a.o. svenska bönder saknar ett modernt beslutsstödsverktyg, en digital DSS modul.

## Mål och hypoteser

Målet med projektet är att skapa underlag för ett beslutsstöd (Decision Support System, DSS) för odling av majs, baserat på sortval och riskmanagement. Baserat på den pågående forskningen vid SLU, internationella resultat och möjligheterna med modern instrumentering har vi ställt följande tre hypoteser:

1. Modern instrumentering baserad på hyperspektral bildanalys/NIRS ger relevanta foderanalyser, vilket leder till en mer, rättvisande sortprovning och möjliggör utökad modellering av kvalitet och tillväxt hos fodermajs i Sverige.

2. Majssorters olika tidighet i termer av FAO-tal (160-220) motsvaras av skillnader i tillväxtegenskaper uttryckta i MAISPROQ-modellens parametrar. Simuleringar med dessa parametrar för 10-30 års-perioder ger relevanta riskanalyser för skörd, skördetid samt kvalitet beroende på sort, odlingslokal och period.
3. Klassvariabler (t.ex. tillväxtparametrar) som beskriver majsorters tidighet och tillväxt, generade med multivariat analys (PCA och PLRS) som bygger på en kombination av klimat- och NIRS-data, kan förbättra möjligheterna att parameterisera nya sorter för MAISPROQ-parametrar under svenska odlingsförhållanden.

Fortsättningsprojektet (2016) har haft två mål:

1. Validera tillväxtmodellen MAISPROQ genom att jämföra modellens prediktioner med resultat genom extra provtagningar vid optimal tidpunkt från den ordinarie sortprovningen av majs, samt de ordinarie resultaten från provningen.
2. Utvärdera resultaten i den ordinarie sortprovningen mot en alternativ provtagningsmetodik som bättre tar hänsyn till majsens mognad i fält.

## Material och metoder

### *Odling av referensmaterial*

För att skapa ett referensmaterial som beskriver majsens tillväxt och kvalitet under olika förhållanden genomfördes ett fältförsök som upprepades under två år (2013 och 2014). Designen var ett faktoriellt randomiserat blockförsök (två block) med sex sorter på tre platser: Kristianstad (Önnestad), Kalmar (Färjestaden) och Lidköping (Bajgården, Norra Härene). Prover från ca fem av totalt åtta skördetillfällen har kontinuerligt upparbetats, vägts, torkats och malts. Sorterna representerade aktuella marknadssorter med variation i tidighet och förväntad kvalitet. Tabell 1 visar en enkel sammanställning av sorternas namn, tidighet och förädlare. Projektet sökte medel för att genomföra tre odlingssäsonger 2013-2015 från SLF. Då endast medel för två odlingssäsonger beviljades, valde vi att modifiera projektet genom att komplettera materialet i projektet med prover och resultat från 2008-2009 (SLF-Projektet, Ny metodik för sortprovning av ensilagemajs, avkastning och odlingssäkerhet H0860022-K00).

Tabell 1. Sorter som ingår i projektet namn, tidighet och förädlare (sort ägare)

|                |           |         |          |           |                   |           |
|----------------|-----------|---------|----------|-----------|-------------------|-----------|
| Sort           | Arcade    | Ramirez | Amagrano | Atrium    | Galbi             | LG 30.211 |
| Tidighet (FAO) | 160       | 170     | 200      | 210       | 220               | 210       |
| Förädlare      | Limagrain | KWS     | KWS      | Limagrain | Caussade-Semences | Limagrain |

### *Kvalitetsanalyser våtkemiskt och NIR-analyser*

Vi utgick från det NIR-scannade materialet från 2008-2009 och gjorde en PLS modell för att plocka ut referensprover för modellering av det nya materialet (2013-2014). Utifrån den PLS modellen valde vi ut prover (n=90) av majs i olika utvecklingsstadier från 2013 och 2014 för våtkemiska analyser. Vi analyserade proverna våtkemiskt med avseende på TS-halt, aska, fiber (NDF, neutral detergent fibre) osmältbar fiber (iNDF), socker (WSC), stärkelse, råprotein och smältbarhet (OMD). Majsens har sedan skannats med två olika NIR instrument för att utvärdera praktisk användning och med olika labbinstrument. De NIR-instrument som använts är Foss 6500 (Foss, Hilleröd, Danmark) och det mer avancerade Umbio Inspector (Umbio, Umeå, Sweden) som är ett on-line instrument för hyperspektral bildanalys.

### *Multivariata NIR-modeller*

Utifrån materialet (2013-2014) har vi gjort NIR-kalibreringar (multivariata regressionsmodeller) för både kvalitets- och skördeparametrar som vi sedan har applicerat på materialet från valideringsprojektet (2016) enligt beskrivning av Hetta, et al. (2017). För att bygga de multivariata modellerna har vi använt programvaran Evince (Evince Prediktera AB, Umeå), Multivariat data-analys användes för utvärderingen av NIR-spektra och -instrument, samt kopplingen till referensdata (kalibreringsmodeller) och genomfördes med Matlab (MathWorks, Natick, MA, USA) och PLS-Toolbox (Eigenvector, Wenatchee, WA, USA). Användbarheten utvärderades med ett index Range Error Ratio (RER).

### *MAISPROQ- modellen*

Vi har använt den tyska mekanistiska majsmodellen MAISPROQ (Herrmann et al., 2005) för att prediktera tillväxt och kvalitetsutveckling i fodermajs under svenska förhållanden. Arbetet har utgått från data som sammanställts av forskargrupperna i Umeå och Uppsala. Vi har anpassat modellen till de sex sorterna i tabell 1 med olika tidighet, vilka alla har ingått i svenska sortförsök. Anpassningen har gjorts på sju provtagningar från bladstadiet till mognad. Sorterna har testats och utvärderats med modellen avseende sannolikheten att de ska uppnå optimal mognad för ensilagemajs med historiska väderdata 2003-2016. Utifrån data från 2013 och 2014 års odlingssäsonger har modeller för varje sort optimerats (parameteriserats) med MAISPROQ-modellen. Modellen har optimerats utifrån observerade tillväxtdata och dygnsvis väderlek från de tre platserna Kristianstad (Helgegården), Öland (Färjestaden) och Lidköping (Bajgården) i projektet. Parametrarna har sedan använts för att simulera majsens tillväxt utifrån 2003-2016 års väderdata på 13 platser i Sverige.

### *Framtagning av ett valideringsmaterial för att validera MAISPROQ-modellen 2016*

För att validera den modifierade MAISPROQ-modellen har vi genomfört ett valideringsprojekt under 2016, som är ett fortsättningsprojekt. Tabell 2 sammanfattar studien som omfattade sex sorter med tidiga (170-180), medel (200) och sena (210-220) FAO-tal. Provtagningar gjordes 2016 från sex platser med sortförsök, Helgegården (Kristianstad), Laholm (Halland), Borgholm (Öland), Hallfreda (Gotland), Bajgården (Lidköping) och Köping (Västmanland). De sena sorterna förekom inte på de två nordligaste platserna (tabell 3).

I valideringsprojektet använde vi en alternativ provtagningsteknik, som möjliggjorde att växtmaterial från samma parcell kunde användas i valideringen som för den ordinarie sortprovningen. Istället för att skörda hela försöksrutor så skördades 10 majsplantor från skyddsraderna när mätarsorten Beethoven hade en uppskattad TS-halt på 34 %. Plantorna hackades i en kompostkvarn och vägdes på plats och provmaterialet skickades till SLU, Umeå för ytterligare provberedning, TS-analys och NIR-scanning. Till NIR-analyserna från valideringsprojektet användes en Foss 6500 spektrometer (Hetta et al., 2017). Sorternas förväntade mognad i relation det aktuella vädret för säsongen 2016 och sorternas förväntade skörd, (kg TS/ha), mognad TS (g/kg skördat material) och kvalitet stärkelse (g/kg TS) predikterades med MAISPROQ-modellen. Provtagning, skörd och kvalitet i valideringsprojektet, jämfördes med resultaten med den ordinarie sortprovningen och med resultatet av modellens prediktering.

Tabell 2. Sorter och skörde datum 2016 för officiella sortprovnigen (SP) och för valideringsprojektet (VP)

| Sort (FAO)  | Sunlite (170) |       | Ambition (180) |       | Beethoven (200) |       | Amagrano (200) |      | MAS16V (210) |      | Tiberio (220) |      |
|-------------|---------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|----------------|------|--------------|------|---------------|------|
|             | SP            | VP    | SP             | VP    | SP              | VP    | SP             | VP   | SP           | VP   | SP            | VP   |
| Hellegården | 21/9          | 5/9   | 21/9           | 5/9   | 21/9            | 5/9   | 21/9           | 5/9  | 21/9         | 5/9  | 21/9          | 5/9  |
| Laholm      | 23/9          | 13/9  | 23/9           | 13/9  | 23/9            | 13/9  | 23/9           | 13/9 | 23/9         | 13/9 | 23/9          | 13/9 |
| Borgholm    | 21/9          | 14/9  | 21/9           | 14/9  | 21/9            | 14/9  | 21/9           | 14/9 | 21/9         | 14/9 | 21/9          | 14/9 |
| Hallfreda   | 18/9          | 15/9  | 18/9           | 15/9  | 18/9            | 15/9  | 18/9           | 15/9 | 18/9         | 15/9 | 18/9          | 15/9 |
| Bajgården   | 17/0          | 29/9  | 17/10          | 29/9  | 17/10           | 29/9  | -              | -    | -            | -    | -             | -    |
| Köping      | 13/10         | 12/10 | 13/10          | 12/10 | 13/10           | 12/10 | -              | -    | -            | -    | -             | -    |

## Resultat

### *Framtagning av växtmaterial, och referensdata*

Projektet har tagit fram ett unikt växtmaterial (2013-2014) som beskriver majsens tillväxt och skörd, mognad och kemiska sammansättning, samt näringsvärde under olika förutsättningar vid åtta skördetidpunkter. Statistik över växtmaterialet redovisas i tabell 3 avseende skörd, mognad och fodervärde. Totalt har vi skördat, berett och analyserat 550 prover av majs som nu finns arkiverade på SLU för fortsatt arbete med modeller och spektrala analyser. Dessutom har vi sammanställt väder- och klimatdata som beskriver odlingsförutsättningarna för alla platser och år.

Tabell 3. Skörd, torrsubstanshalt (TS), stärkelsehalt och energivärde för växtmaterialet odlat 2013 och 2014 i Kristianstad (K), Färjestaden (F) och Skara (S).

|       | Skörd (Kg TS/ha) |       |       | TS (g/kg) |     |     | Stärkelse (g/kg TS) |     |     | NEL20 MJ/kg TS |     |     |
|-------|------------------|-------|-------|-----------|-----|-----|---------------------|-----|-----|----------------|-----|-----|
|       | K                | F     | S     | K         | F   | S   | K                   | F   | S   | K              | F   | S   |
| N     | 192              | 180   | 192   | 192       | 192 | 192 | 168                 | 168 | 162 | 168            | 168 | 162 |
| Medel | 12759            | 13769 | 12759 | 246       | 234 | 221 | 174                 | 163 | 145 | 5,7            | 5,6 | 5,5 |
| Stdav | 8251             | 9472  | 7461  | 128       | 99  | 96  | 124                 | 143 | 131 | 0,4            | 0,6 | 0,5 |
| Min   | 8                | 4     | 5     | 65        | 93  | 44  | 0                   | 0   | 0   | 4,2            | 4,4 | 4,6 |
| Max   | 27978            | 30234 | 25443 | 488       | 485 | 571 | 443                 | 406 | 396 | 6,5            | 6,8 | 6,5 |

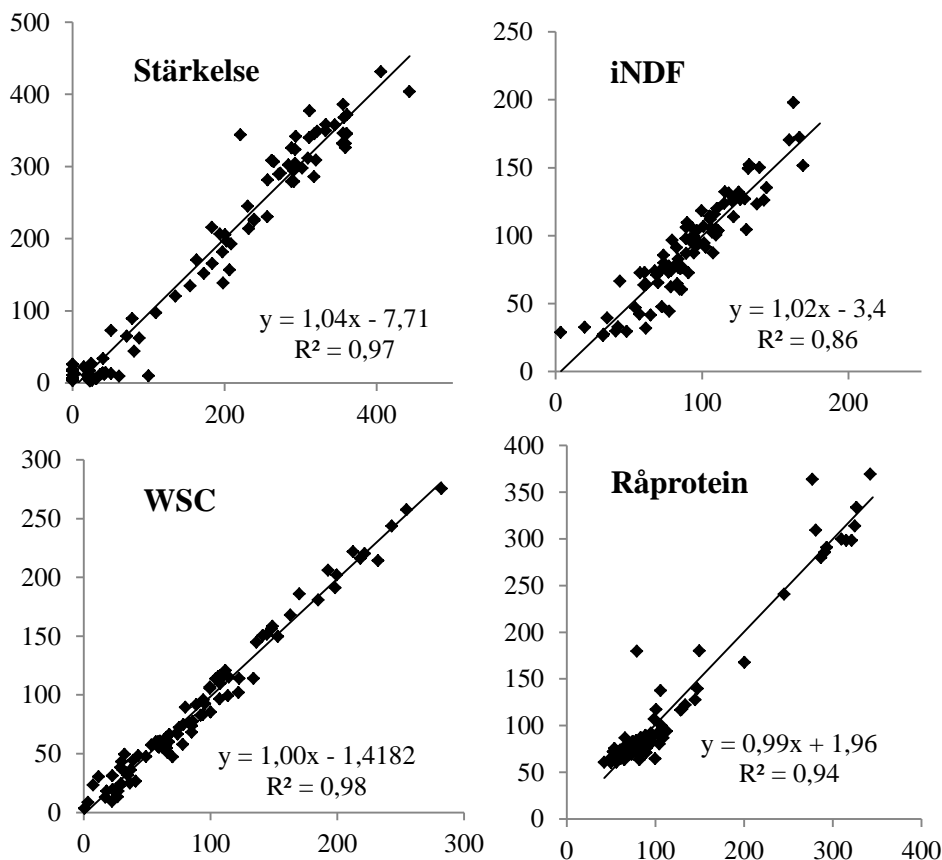
N = antalet observationer, Stdav=Standardavvikelse

### *Multivariata modeller och utveckling av NIRS prediktioner*

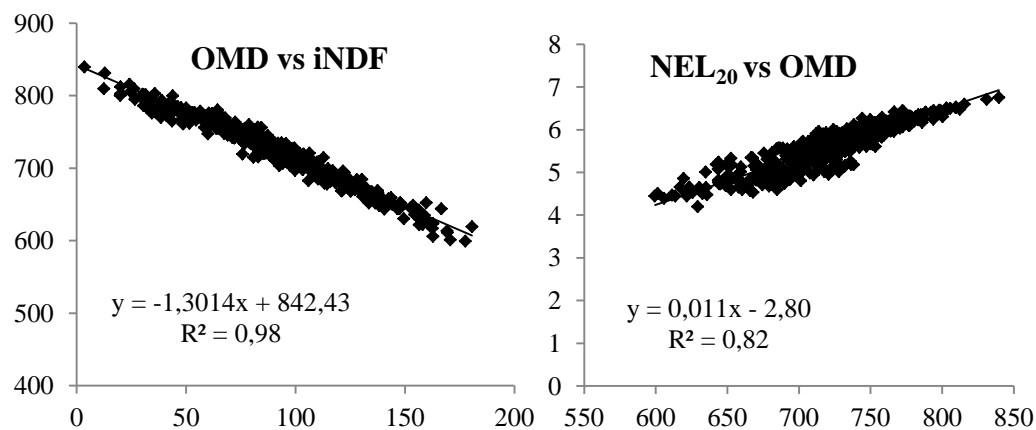
Projektet har tagit fram multivariata NIRS modeller som predikterar majsens kvalitet och fodervärde. Figur 1 visar relationerna mellan NIR analyser och referensdata för fyra foderparametrar och figur 2 visar relationerna mellan olika foderparametrar som har predikterats med NIR.

### *Ny jämförelse mellan sorter*

Projektet har haft som målsättning att ta fram en ny modell för sortprovning. Tabell 4 visar på ett exempel på en sådan ny jämförelse, baserad från växtmaterialet på Öland från 2013. Den statistiska jämförelsen bygger på en enkel variansanalys (ANOVA). I tabell 5 ser man tydligt skillnader mellan sorterna i tidighet och mognad (TS), kvalitet, stärkelsehalt och fodervärde samt förväntad mjölkproduktion per ton TS foder och per hektar. Skörd och TS är mätt i fält och labb och stärkelse och fodervärde är mätt med NIR med de nya kalibreringsmodellerna som har tagits fram. Projektet visar tydligt att det är vid en TS-halt på 340 g/kg TS som är den mest representativa för sorternas prestanda. I den här studien har det varit vid det sjunde skördetillfället, som har varit mest representativt för sorternas maximala avkastning på alla platser båda åren.



Figur 1. Jämförelser mellan NIR prediktioner (x-axel) och referensanalyser (y-axel) i g/kg torrsubstans av stärkelse, osmältbar fiber (iNDF), socker (WSC) och råprotein för majsens skördad under 2013 och 2014.



Figur 2. Relationer mellan NIR-prediktioner av organisk smältbarhet (OMD; y-axel; g/kg) och osmältbar fiber (iNDF; x-axel; g/kg TS) och jämförelse mellan nettoenergivärdet för laktation (NEL<sub>20</sub>; MJ/kg TS) och OMD (y-axel; g/kg TS) för hela materialet från 2013-2014.

### Modellering med MAISPROQ

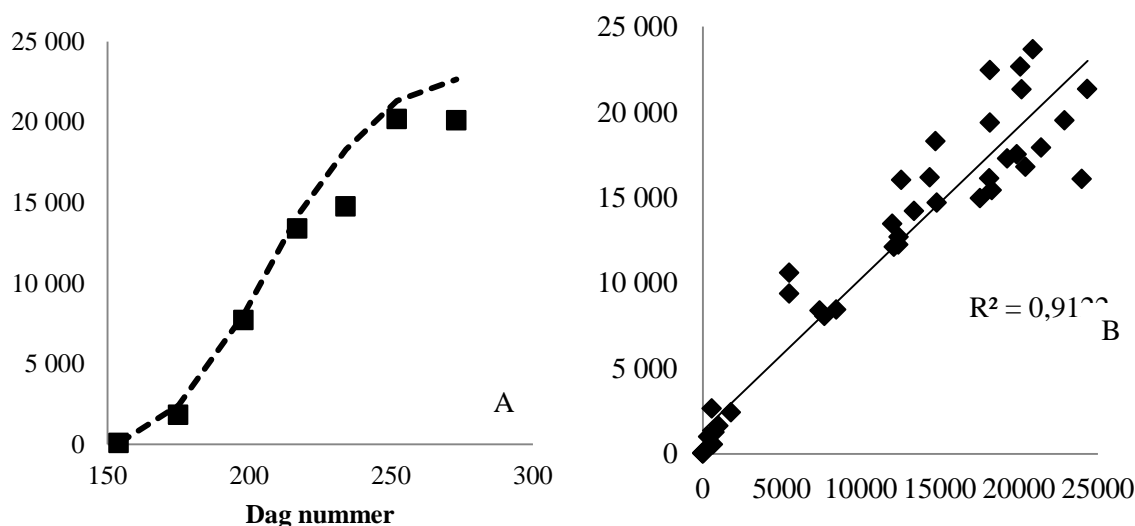
För att kunna använda MAISPROQ-modellen krävs att man parameteriserar varje sort. För valideringsprojektet har vi använt parametrar från sorter med samma FAO-tal för att prediktera hur de nya sorterna presaterar med MAISPROQ modellen i relation till resultaten i den ordinarie sortprovningen vilket visas i tabell 5. Figur 3 visar exempel på data från valideringen av modellen (2013-2014).

Tabell 4. Sammanställning av skörderesultat från Färjestaden skördetillfälle 7, den 4 oktober 2013, mognadsbedömning TS, NIR-analyser och fodervärde enligt NorFor (NEL<sub>20</sub>) samt förväntat utbyte av fodret i mjölkproduktionen.

| Sort      | FAO | Skörd Kg TS/ha     | TS g/kg           | Stärkelse g/kg TS | NEL <sub>20</sub> MJ/kg TS | Kg Mjolk/ ton TS   | Ton mjölk /ha     |
|-----------|-----|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|
| Arcade    | 160 | 18659 <sup>a</sup> | 392 <sup>ab</sup> | 333 <sup>ab</sup> | 6,19 <sup>a</sup>          | 1970 <sup>a</sup>  | 36,8 <sup>a</sup> |
| Ramirez   | 170 | 16878 <sup>a</sup> | 397 <sup>a</sup>  | 344 <sup>a</sup>  | 6,08 <sup>a</sup>          | 1940 <sup>a</sup>  | 32,7 <sup>a</sup> |
| Amagrano  | 200 | 19586 <sup>a</sup> | 347 <sup>c</sup>  | 328 <sup>ab</sup> | 5,95 <sup>ab</sup>         | 1890 <sup>ab</sup> | 37,0 <sup>a</sup> |
| Atrium    | 210 | 17277 <sup>a</sup> | 350 <sup>bc</sup> | 325 <sup>ab</sup> | 6,12 <sup>a</sup>          | 1940 <sup>a</sup>  | 33,5 <sup>a</sup> |
| Galbi     | 220 | 17010 <sup>a</sup> | 295 <sup>d</sup>  | 281 <sup>c</sup>  | 5,77 <sup>b</sup>          | 1830 <sup>b</sup>  | 31,1 <sup>a</sup> |
| LG 30.211 | 210 | 20326 <sup>a</sup> | 329 <sup>cd</sup> | 293 <sup>bc</sup> | 5,95 <sup>ab</sup>         | 1890 <sup>ab</sup> | 38,4 <sup>a</sup> |

<sup>abcd</sup> Sorter i samma kolumn med skilda bokstäver är signifikant skilda ( $P < 0.05$ ) Validering av MAISPROQ-modellen mot ordinarie sortprovning

I tabell 7 redovisas resultaten från valideringen 2016. Fokus är på skillnader i TS-halten mellan resultaten från valideringen, simuleringen med MAISPROQ och ordinarie sortförsök. Parametrar från sorter med samma FAO-tal från 2013-2014 har används för sorterna i valideringen 2016, eftersom bara en sort Amagrano var gemensam för dataseten. Från hela datasetet har vi valt ut tretton TS-provtagningar till valideringen i intervallet 32,0-36,0 % där TS-halten kom närmast 34 %. I valideringen ingick sorterna (FAO-tal) Ambition (180), Sunlite (170), Beethoven (200), Amagrano (200), MAS 16V (210) och Tiberio (220). Resultaten för sortprovningen var för motsvarande sorter som ingick i valideringen.



Figur 3. Validering av MAISPROQ för sorten Amagrano. Graf A visar avkastning (kg TS/ha) för sju skördetidpunkter (dag på året) under 2013 i Kristianstad. Graf B visar observerade (x) och beräknade värden (y) (kg Ts/ha) för alla platser åren 2013 och 2014

Tabell 5. Jämförelser mellan validering (V), simulering (S) och ordinarie sortprovning (O) under 2016 av data för TS-halt (%) och skördedatum

| Plats        | FAO | Validering (V) |               | Simulering (S) |               | Ordinarie (O) |               | Skillnader |            |            |             |
|--------------|-----|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|------------|------------|------------|-------------|
|              |     | TS             | Datum         | TS             | Datum         | TS            | Datum         | Datum, O-S | Datum, V-S | TS, O-S    | TS, V-S     |
| Kristianstad | 220 | 32,0           | 05-sep        | 34,5           | 09-sep        | 42,2          | 21-sep        | 12         | -4         | 7,7        | -2,5        |
| Lidköping    | 200 | 32,2           | 29-sep        | 34,2           | 27-sep        | 39,1          | 17-okt        | 20         | 2          | 4,9        | -2,0        |
| Öland        | 170 | 32,2           | 14-sep        | 34,2           | 12-sep        | 37,5          | 21-sep        | 9          | 2          | 3,3        | -2,0        |
| Öland        | 220 | 32,2           | 14-sep        | 34,1           | 11-sep        | 36,6          | 21-sep        | 10         | 3          | 2,5        | -1,9        |
| Öland        | 210 | 33,1           | 14-sep        | 34,0           | 17-sep        | 34,7          | 21-sep        | 4          | -3         | 0,7        | -1,0        |
| Gotland      | 170 | 33,2           | 15-sep        | 34,2           | 15-sep        | 35,4          | 18-sep        | 3          | 0          | 1,2        | -1,0        |
| Kristianstad | 170 | 34,0           | 05-sep        | 34,5           | 10-sep        | 48,8          | 21-sep        | 11         | -5         | 14,3       | -0,5        |
| Kristianstad | 210 | 34,5           | 05-sep        | 34,1           | 14-sep        | 44,2          | 21-sep        | 7          | -9         | 10,1       | 0,4         |
| Gotland      | 180 | 35,3           | 15-sep        | 34,4           | 27-sep        | 36,3          | 18-sep        | -9         | -12        | 2,0        | 0,9         |
| Kristianstad | 200 | 35,4           | 05-sep        | 34,2           | 19-sep        | 43,3          | 21-sep        | 2          | -15        | 9,1        | 1,1         |
| Lidköping    | 180 | 35,7           | 29-sep        | 34,0           | 26-sep        | 46,7          | 17-okt        | 21         | 3          | 12,7       | 1,7         |
| Lidköping    | 170 | 35,8           | 29-sep        | 34,6           | 16-sep        | 41,8          | 17-okt        | 31         | 13         | 7,3        | 1,2         |
| Öland        | 180 | 35,9           | 14-sep        | 34,1           | 22-sep        | 39,1          | 21-sep        | -1         | -8         | 5,0        | 1,8         |
| <i>Medel</i> |     | <i>34,8</i>    | <i>15-sep</i> | <i>34,2</i>    | <i>18-sep</i> | <i>41,2</i>   | <i>27-sep</i> | <i>9</i>   | <i>-3</i>  | <i>6,2</i> | <i>-0,3</i> |

Jämförs spridningen hos TS-värdena har sortprovningen betydligt större spridning än resultaten från valideringen. I båda fallen gäller att gemensam skörd skulle ske när mätaren Beethoven hade 34 % TS. Resultaten visar tydligt att skörden har skett för sent i de ordinarie sortförsöken. Medel för TS-halten ligger där drygt 6 % högre än för valideringen. Datum när MAISPROQ uppnådde 34 % var i genomsnitt 18 september för 2016, tre dagar senare jämfört med valideringen, vilket är en mycket bra överensstämmelse. Detta visar att modellen kan simulera tillväxten hos majs, men att det finns behov av att utvärdera varför vissa avvikelser uppträder och om det finns alternativa modeller som kan enklare parameteriseras för nya sorter.

## Diskussion

Referensmaterialet som vi har tagit fram i projektet och som sammanfattas i Tabell 3, beskriver majsens tillväxt, kvalitet och under olika förutsättningar i Sverige. Det gör materialet till en ideal resurs för att utveckla både spektrala och matematiska modeller som del i ett beslutsstöd (Decision Support System, DSS), baserat på sortval och riskmanagement. Förutom sorternas relativa tidighet och skördenivåer lyfter ofta förädlare av majs fram egenskaper som sorternas foderkvaliteter i form av stärkelsehalt och smältbarhet som fördelaktiga för den specifika sorten. För att sortprovningen skall kunna göra relevanta jämförelser avseende kvalitetsparametrar krävs att det finns relevanta och kostnadseffektiva analysmetoder att tillgå. Projektet har visat att med ny instrumentering och adekvata referensanalyser kan vi prediktera sorternas foderkvalitet och även den förväntade mjölkproduktionen, vilket är ett relevant mått för de svenska lantbrukarna (Tabell 4). De spektrala modeller som redovisas i Figur 1, visar på god överensstämmelse mellan referens analyser och de spektrala NIR modellerna. Resultaten visar att god prediktion kan analysera majsens kvalitet under hela tillväxten



något som är en unik förutsättning för att kombinera spektrala tekniker med modellering av tillväxt och kvalitet.

Förutom att modellerna skall prediktera växternas kemiska sammansättning så skall de även prediktera näringsvärdet för framför allt mjölkkor. De mest relevanta egenskaperna är majsens smältbarhet (OMD) som beskrivs av första hand kvalitén på fibern (iNDF). Utifrån fiberns kvalitet kan man även beskriva majsens nettoenergi innehåll  $NEL_{20}$  och därmed beskriva hur mycket mjölk som korna kan förväntas att producera baserat på majsens kvalitet (Mussadiq et al., 2013). I Figur 2 ser man tydligt sambanden mellan parametrarna OMD och iNDF samt sambandet mellan OMD och  $NEL_{20}$ . Resultaten i Figur 2 visar mycket god samstämmighet mellan de biologiskt beroende parametrarna skattade med oberoende NIR modeller, vilket ger en tydlig fingervisning om att modellerna är tillförlitliga. Jämförelser mellan projektets spektrala modeller och de kommersiella foderanalyserna (Krizsan et al., 2014), visar att vi på SLU skulle kunna göra analysarbetet, snabbare, billigare och effektivare, om vi själva hade tillgång till spektral instrumentering och egna referensmodeller ute på fältstationerna.

Arbetet med MAISPROQ modellen (Nkurunziza et al., 2014) visade att modellen har potential att prediktera skörd, mognad (TS-halt) och kvalitet (stärkelsehalt) hos majs under flera olika odlingsförutsättningar i Sverige, se t.ex. Figur 3. Modellen kunde även prediktera optimal skördetidpunkt för ett flertal platser i Sverige vilket syns i tabell 5. Valideringen av modellen mot den ordinarie sortprovningen visar att det finns ett tydligt behov av ett verktyg som hjälper försöksutförare och lantbrukare att skörda försöks och kommersiell majs vid rätt tidpunkt. Resultaten från valideringsprojektet visar även att det finns behov att utveckla mognadsbedömning metodiken för provtagningen i sortprovningen. Utmaningen med att använda modeller med specifika parametrar i sortprovningen är sorternas relativt korta tid på marknaden. Det innebär i praktiken att man måste använda parametrar från äldre sorter när nya sorter introduceras på marknaden. Om man parametriserar ytterligare ett stort antal sorter kan man antagligen bygga spektrala modeller som predikterar sorternas tillväxt parametrar. Detta särskilt om man tar hänsyn till möjligheten att prediktera sorternas morfologi som gjorts av Hetta et al. (2017).

Även om modellen MAISPROQ-modellen används av den DSS för val av majssorter och skördetidsprognoser som den tyska majskommittén erbjuder ([www.maiskomitee.de](http://www.maiskomitee.de)), så finns det behov av att utvärdera andra modeller som beskriver tillväxt av majs. Det finns behov av att jämföra både prediktioner och användarvänlighet. Modellen APSIM som är utvecklad i Australien av Keating, B.A, et al. (2003) erbjuder en bred modulerings plattform som kan anpassas till ett stort antal grödor. Modellen APSIM har en stor internationell Community som använder modellen i flera projekt, vilket skapar förutsättningar för internationellt samarbete kring grödan majs i ett vidare perspektiv.

För att gå vidare med arbetet, kommer vi söka innovationsstöd, tillsammans med företag, lantbrukare för att skapa en applikation som kombinerar tillväxtmodeller och spektrala analyser som kan användas i det praktiska lantbruket. Under projektet har vi arbetat med att tillföra resurser för att arbeta vidare med konceptet bland annat har vi skapat långsiktig tillgång till ett modernt hyperspektralt instrument med avancerad programvara och dessutom finansierat en post-doc som under ytterligare två år skall arbeta med material och resultat från projektet. Därmed räknar vi med att kunna jobba vidare med beslutsstödet även i den närmaste framtiden med målsättningen att skapa en applikation som kan användas av det praktiska lantbruket.

## Resultatförmedling

I bilagan till slutrapporten finns en förteckning över samtliga möten, konferenser samt publikationer där projektet presenterats. Projektdeltagarna har under projekttiden löpande deltagit i seminarier, workshops och andra händelser som vänt sig till lantbrukare, finansiärer, studenter, övriga forskarsamhället och teknikutvecklare. En av det viktigaste arbetet med resultat förmedling var arrangerandet av EGF seminariet ”Maize in a cooler climate - from seed to feed 24-25 september 2014.

## Avvikelser i projektet

Projektet har haft en viss förskjutning i tiden, framförallt på grund av tillgången till hyperspektral instrumentering, vilket har påverkat möjligheterna att vetenskapligt publicera resultaten från 2013-2014. Därför har vi valt att prioritera publiceringen av materialet från 2008-2009 i första hand som vi har kompletterat projektet enligt tidigare kommunikation, vi har därför nu tillgång till material och resultat från fyra odlingssäsonger i stället för tre. En viktig del av projekttiden därför används till att skapa långsiktig tillgång till instrumentering och för att skapa förutsättningar av fortsatt arbete med materialet. Vi (SLU) har valt att tillföra resurser i form av en post doc som kommer att arbeta med data från projektet under de kommande två åren. Det kommer även att vara en viktig resurs för att skapa en tillämpning av projektet tillsammans med lantbrukets organisationer. På SLU har vi skapat långsiktig tillgång till ett modernt hyperspektralt instrument med avancerad programvara. Därmed räknar vi med att kunna jobba vidare med tillämpningar av beslutsstödet även i den närmaste framtiden.

## Referenser

- Herrmann A, Kornher A, Taube F. 2005. A new harvest time prognosis tool for maize production in Germany. *Agric Forest Meteorol.* 130:95–111.
- Hetta, M. Mussadiq, Z. Wallsten, J. Halling, M. Swensson, C. & Geladi, P. 2017. Prediction of nutritive values, morphology and agronomic characteristics in forage maize using two applications of NIRS spectrometry. *Acta Agriculturae Scandinavica section B-soil and plant science.* <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2017.1278782>.
- Krizsan, S. Mussadiq, Z. J. Hetta, M. Ramin, M., Nyholm, L. & Huhtanen, P. 2014. Predicting feeding value of forage maize hybrids harvested at different maturities and sites. *Journal of Animal and Feed Science* 23, 269-272.
- Mussadiq, Z, Gustavsson, A.- M, Geladi, P. Swensson, C. & Hetta, M. 2013. Effects of morphological fractions on estimated milk yields in forage maize depending on growing site and plant maturity. *Acta Agriculturae Scandinavica section A-animal science* 63 (3), 131-142.
- Nkurunziza, L. Kornher, A., Hetta, M., Halling, M., Weih, M & Eckersten, H. 2014. Crop genotype-environment modelling to evaluate forage maize cultivars under climate variability. *Acta Agriculturae Scandinavica section B-soil and plant science* 64, 56-70.
- Keating, B.A, et al. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation *Modelling Cropping Systems: Science, Software and Applications.*, 18, 267–288.