

Bränsleegenskaper hos spannmålskärna

Betydelsen av jordart, sädeslag och sort

*On the fuel quality of cereal grains – Impact of soil composition,
cereal species and variety*

Gunnar Hadders
Mehrddad Arshadi
Calle Nilsson
Jan Burvall

© **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2001**

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	8
Definitioner och förkortningar	9
Bakgrund.....	9
Litteratursammanställning	10
Syfte	10
Genomförande	10
Material	10
Metod	11
Provberedning.....	11
Värmevärde	11
Askhalt.....	11
Huvudelement i askan	11
Askans smältförlopp	12
Statistisk bearbetning genom multivariat dataanalys	12
Tillgängliga variabler	12
Resultat	13
Kalorimetriskt värmevärde.....	13
Askhalt	14
Askans sammansättning	15
Halt av kisel i askan.....	18
Askans smältegenskaper	19
Multivariat studie av sambanden mellan jordart, askhalt, asksammansättning och askans smältförlopp	21
Prediktion av askhalt och asksammansättning	22
Prediktion av askans smältförlopp.....	25
Diskussion.....	27
Slutsatser.....	28
Referenser	29

Bilaga 1	31
Bilaga 2	33
Bilaga 3	35
Bilaga 4	37

Förord

Föreliggande rapport redovisar en studie finansierad av Energimyndigheten (STEM) inom ett program för forskning och utveckling med titeln ”Småskalig förbränning av biobränslen”.

De prov av spannmålskärna och jord som har analyserats har samlats in inom verksamheten hos Fältforskningsenheten vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Prov och analysdata har levererats av HS Miljölab AB, Kalmar, och Provcentralen vid SLU, Uppsala. Laboratorieanalyserna har genomförts vid SLU, Enheten för biomassateknologi och kemi (BTK) i Umeå samt hos Svensk Grundämnesanalys (SGAB) i Luleå.

För den statistiska bearbetningen av försöksresultaten har Mehrdad Arshadi, Calle Nilsson och Jan Burvall, BTK, svarat. Dessa har också tillsammans skrivit grunden till avsnittet ”Resultat”.

Ansvar för den övergripande planeringen av projektet har legat hos Gunnar Hadders, JTI. Gunnar är också den som stått för den slutliga redigeringen av texten i rapporten.

Till alla som på något sätt bidragit till projektets genomförande riktas härmed ett varmt tack.

Ultuna, Uppsala i december 2001

Lennart Nelson

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

105 prov från totalt sju sorter av de fyra sädesslagen höstvetete, rågvete, korn och havre har analyserats. Proven har samlats in från ett hundratal platser med varierande jordartsförhållanden i Götaland och Svealand.

Proven har analyserats med avseende på

- askhalt (samtliga prov)
- huvudelement i askan (samtliga prov)
- värmevärde (21 prov)
- askans smältförlopp (21 prov)

Resultaten från laboratorierna har bearbetats statistiskt med hjälp av s.k. multivariat dataanalys. Multivariat dataanalys är baserad på avancerade matematiska och statistiska beräkningar för att utvinna information från stora datamängder. Använda modeller försöker beskriva data, inte genom att analysera en variabel i taget, utan genom att samtidigt ta hänsyn till alla variabler och även samverkan mellan dessa, vilket oftast leder till en drastisk ökning av den information som kan erhållas ur datamaterialet.

Jordarten på växtplatsen förefaller vara av underordnad betydelse för bränslekvaliteten hos spannmålskärna, i motsats till resultat från tidigare undersökningar avseende gräset rörflen och spannmålshalm.

Relativt stora skillnader i bränslekvalitet mellan de undersökta sädesslagen har registrerats. Olikheterna är särskilt stora mellan vete och havre. Detta gäller främst askans sammansättning och dess smältförlopp samt i viss mån värmevärdet. Mest påfallande är att havre avviker från övriga genom betydligt högre kiselhalter och mindre innehåll av kalium och fosfor, förhållanden som i andra sammanhang har inverkat positivt på askans smälteegenskaper.

Resultaten visar även att många parametrar går att prediktera med hjälp av multivariat dataanalys. Det går ganska bra att prediktera askhalten och de fyra metall-oxider som förekommer i största mängder i askan (K_2O , MgO , P_2O_5 och SiO_2) med hjälp av data från jordart, jordens pH-värde och sädesslag. Vidare går det utmärkt att prediktera askans smältförlopp vid varierande temperatur utifrån data om askhalt i kärnan och halt kisel i askan. Prediktion av smältförlopp utifrån data från metallanalys av askan har visat mycket bra resultat.

Summary

105 samples of seven cereal varieties from winter wheat, winter triticale, barley and oats were analysed. The samples were collected from some hundred locations with varying soil composition in southern Sweden (regions of Götaland and Svealand).

The samples were analysed concerning

- the content of ashes (all samples)
- the main components in the ashes (all samples)
- the heat value (21 samples)
- the melting behaviour of the ashes (21 samples)

The results from the laboratory has been statistically analysed using multivariate data analysis. Multivariate data analysis is based on advanced mathematical and statistical calculations to gain information from large amounts of data. The models used try to describe data, not by analysing one variable at a time, but by simultaneously take into consideration all variables and also interactions between these, which usually leads to a considerable increase in the amount of relevant information from measured chemical data.

The soil composition at the growing site seem to be of little importance for the fuel quality of cereal grains, in contradiction to what is reported for Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea*) and straw from cereal grains.

Relatively large differences in fuel quality between the cereal species studied were found. The differences were particularly large comparing wheat and oats. This was mainly true for the composition of the ashes and its melting behaviour, but to some extent also for the heat value. Most striking is that oats differs from the other species by having considerably higher contents of silica, and lower content of potassium and phosphorus. These circumstances have in other corresponding contexts been of positive impact on the melting behaviour of the ashes.

The result also shows that it is possible to predict several parameters by multivariate data analysis. It is possible to some extent to predict the content of ashes in the fuel and the contents of the four main metal oxides in the ashes (K_2O , MgO , P_2O_5 and SiO_2) from the data of the soil composition, the pH-value of the soil and the cereal species. It is also possible to predict the melting behaviour of the ashes at varying temperature, using the content of ashes in the grain and the content of silica in the ashes, with good accuracy. Also, prediction of the melting behaviour of the ashes using information about the main metal constituents of the ashes proved to work very well with this method.

(Figure and table texts in English are available in appendix 4.)

Definitioner och förkortningar

Det bränsle som behandlas i denna rapport betecknas *spannmålskärna* för att inte blandas ihop med begreppen *spannmål* och *helsäd*. Med kärna avses samma produkt som annars exempelvis går till djurfoder och mjöl efter att i samband med skörden ha skiljts ifrån halm och fröskal med en skördetröska. Spannmål avser ofta själva grödan och därmed hela växten. Helsäd brukar användas för den blandning man får när man skördar spannmål utan att separera kärna, fröskal och halm.

Torrsubstans (material efter fullständig torkning) förkortas i rapporten med *ts*.

Bakgrund

För många lantbrukare har tanken på att använda spannmålskärna för förbränning åter blivit aktuell. Det hänger samman med låga priser för spannmål och möjligheter att odla energigrödor med bibehållet arealbidrag. Ytterligare en bidragande orsak är säkerligen att tekniken för att elda träpellets och träflis småskaligt har utvecklats väsentligt under senare hälften av 1990-talet. Bränslet passar väl in i strategin att ersätta användning av olja och el vid uppvärmning med användning av biobränsle, såväl inom som utanför jordbruksföretagen.

Spannmålskärna är ett förhållandevis okänt bränsle. I ett material hos Västsvenska Lantmän (1990, opublicerat) finns uppgifter om 23 prov ur vete tagna från ett tiotal platser i Götaland och Svealand. I materialet är maximi- och minimivärden för några ur förbränningssynpunkt betydelsefulla parametrar följande:

Kalorimetriskt värmevärde	18,4 – 19,0 MJ/kg ts (effektivt värmevärde är cirka 1,5 MJ/kg ts mindre)
Askhalt	1,5 – 2,1 %
Kalcium	0,34 – 0,53 g/kg ts
Natrium	11,8 – 27,1 mg/kg ts
Kalium	5,74 – 9,87 g/kg ts
Svavel	0,8 – 1,7 g/kg ts
Klor	0,79 – 1,11 g/kg ts
Kväve	1,2 – 2,9 %

Smältpunkten hos spannmålskärnans aska var i det aktuella materialet relativt låg (<1 000°C) i jämförelse med aska från trä, vilket är en nackdel. Vid studier av askans smältförlopp (metod enligt ISO gällande år 1990) noterades mjukning av askan vid temperaturer mellan 625 och 820°C. Askorna var flytande vid temperaturer mellan 712 och 1 025°C. Dessa värden innebär att det krävs speciell teknik för att uppnå en effektiv förbränning och samtidigt undvika risk för att askan smälter.

Litteratursammanställning

En enkel sammanställning av publicerade analysresultat avseende bränsleegenskaperna hos spannmålskärna återfinns i bilaga 1.

Syfte

Syftet med aktuell studie har varit att belysa sambandet mellan bränslekvalitet och jordartsförhållanden på växtplatsen för spannmålskärna.

Genomförande

Prov av spannmålskärna och uppgifter om jordart kopplade till dessa prov har hämtats från den ordinarie försöksverksamheten inom Fältforskningsenheten (FFE) vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Enheten har s.k. parcellförsök utplacerade över hela landet. Som regel sköts försöken av Hushållningssällskapet i respektive län på uppdrag av SLU.

Material

I Sverige förekommer i huvudsak fyra sädesslag, nämligen havre, korn, råg och vete. Det finns också utvecklingsgrenar av dessa som exempelvis vår- och höst-vete liksom rågvete.

Inom varje sädesslag förekommer flera sorter, dvs. genetiskt skilda material. Det kommer, av bland annat rent kommersiella skäl, ständigt nya sorter på marknaden, av människan anpassade till varierande växtbetingelser och användningsområden.

Vid studiens inledning beställdes knappt 200 prov. Det fanns vid den tidpunkten inte möjlighet att genomföra ett urval av försöksplatser baserat på användning av något verktyg för statistisk försöksplanering. Beställningen avsåg istället prov ur några av FFE:s större försöksserier (sortförsök) från alla försöksplatser belägna i Götaland och Svealand enligt följande:

- Höstvete: sorterna Kosack och Ritmo
- Rågvete: Prego och Fidelio
- Korn: Henni
- Havre: Belinda och Petra

Den förstnämnda sorten för respektive sädesslag är eller är på väg att bli s.k. mätare, dvs. den sort som nya sorter jämförs med. Det betyder att det är en vanligt förekommande och väl dokumenterad sort. Den andra sorten utgör ett vanligt alternativ som i någon aspekt avviker från mätaren.

Bland de 164 prov till vilka det fanns kompletta jordartsdata gjordes ett urval bestående av 105 prov (tabell 1), det antal som rymdes inom aktuell budget. Urvalet gjordes med hjälp av PCA-analys (principalkomponentanalys, se avsnittet ”Statistisk bearbetning genom multivariat dataanalys”) så att maximal variation i jordartsparametrar erhöles, samtidigt med en jämn fördelning mellan sorterna. Prov för asksmält-egenskaper och värmevärde (21 stycken vardera) valdes ut genom PCA-modeller och utifrån litet, medel och stort innehåll av aska.

Tabell 1. Antal tillgängliga prov av respektive sort och antal analyser som utförts.

Sädesslag/sort	Antal tillgängliga prov	Askhalt	Metall-innehåll	Asksmält-egenskaper	Värmevärde
Höstvete, Kosack	33	15	15	3	3
Höstvete, Ritmo	27	15	15	3	3
Rågvete, Prego	18	15	15	3	3
Rågvete, Fidelio	18	15	15	3	3
Korn, Henni	21	15	15	3	3
Havre, Belinda	31	16	16	3	3
Havre, Petra	16	14	14	3	3
Summa	164	105	105	21	21

Proven av kärna togs i samband med skörd av grödan. Instruktionerna från FFE till den som tog ut prover framgår av bilaga 2. Provet (cirka 1 kg) utgjorde i storleksordningen 10 procent av avkastningen på ytor mellan 16 och 25 m². Proven skickades till Provcentralen vid SLU i Uppsala samt till HS Miljölab, Kalmar, för ordinarie analyser. Resterande material efter dessa analyser (några hundra gram) lades undan för JTI:s disposition.

Data rörande jordarten på växtplatsen har hämtats från FFE:s databas och från HS Miljölab AB, Kalmar. Instruktionerna för insamling och behandling av jordprov framgår av bilaga 3.

Metod

Provberedning

Samtliga prov har malts i knivkvarn (fabrikat Brabender) till partikelstorlek <1 mm (såll 1,5 mm).

Värmevärde

Värmevärdet har analyserats med bombkalorimeter enligt SS ISO 1928, ”Fasta bränslen – Bestämning av kalorimetriskt värmevärde och beräkning av effektivt värmevärde”.

Askhalt

Askhalten har bestämts genom glödning till konstant vikt vid 550°C ± 25°C enligt SS 18 71 71, ”Biobränslen – Bestämning av askhalten”.

Huvudelement i askan

Analysen utfördes genom att först inaska provet vid 550°C. Därefter uppslöts provet i stark syra (HF, H₂SO₄) under tryck för att lösa ut ämnena. Slutbestämning av följande element har utförts med ”Inductively Coupled Plasma” (ICP): Al₂O₃, CaO, Fe₂O, K₂O, MgO, MnO₂, Na₂O, P₂O₅, SiO₂, TiO₂, Ba, Be, Co, Cr, Cu, La, Mo, Nb, Ni, Sc, Sn, Sr, V, W, Y, Zn, Zr (utfört hos SGAB, Luleå). Dessa element förekommer i olika bindningsformer hos biologiska material men anges vanligen som oxider.

Askans smältförlopp

Askans smältförlopp undersöktes med två metoder. Dels prövades den metod som vanligen används för biobränslen (ASTM D-1857, Fusibility of coal and coke ash). Denna visade sig dock inte vara tillämpbar för aktuella askor. Askorna härdade direkt efter tillsats av bindemedel Dextrinlösning samt vatten varvid de fastnade i den form som används för att tillverka de koner av aska som utnyttjas för bestämning av asksmältförloppet.

Istället dokumenterades askans smältförlopp genom att förbränna cirka 2 g prov i en muffelugn vid 815°C (inaskningstemperatur enligt standard för kol), 900°C och slutligen 1 000°C. Efter uppvärmning till varje temperatur avkyldes proven till rumstemperatur varefter askan karaktäriserades visuellt (Ghaly, 1993; Ghaly, 1994). Askans tillstånd graderades enligt följande: 1 – pulver, 2 – spröd kaka (begränsande sintring), 3 – hård kaka (sintrad) och 4 – helt smält.

Statistisk bearbetning genom multivariat dataanalys

Multivariat dataanalys är baserad på avancerade matematiska och statistiska beräkningar för att utvinna information från stora datamängder. Dessa modeller försöker beskriva data, inte genom att analysera en variabel i taget, utan genom att samtidigt ta hänsyn till alla variabler och även samverkan mellan dessa variabler, vilket oftast leder till en drastisk ökning av den information som kan fås ur materialet (Martens, 1996; Wold, 1998).

För att komprimera data och få en överblick över det mesta av variationen är principalkomponentanalys, PCA (Principal Component Analysis), ett effektivt redskap. Olika klasser av observationer samt s.k. "outliers" kan påvisas.

Med hjälp av partiell multivariat regressionsanalys, PLS (Partial Least Squares), kan korrelation mellan en eller flera y-variabler och flera x-variabler konstateras (Geladi 1986).

Ett mått på hur bra modellen är i förhållande till observerade data anges med värdet R^2 . En bra modell har R^2 nära 1,0. Modellens förmåga att prediktera nya data anges med värdet Q^2 , dvs. hur bra modellen kan förutsäga y-värden utifrån x-data. Q^2 för en god modell ligger mellan 0,5 och 1,0.

Tillgängliga variabler

Variabler vid de grundläggande statistiska analyserna har varit

- Spannmålssort (sju stycken).
- Mullhalt (%) i jordprov.
- Halterna (%) ler, finmo + mjäla respektive grovmo + sand. Dessa tre klasser av partiklar hos mineraldelen i jordprovet har tillsammans utgjort 100 %.
- pH-värde.

Resultat

Kalorimetriskt värmevärde

De registrerade kalorimetriska värmevärdena hos vetesorterna (Kosack, Ritmo, Prego och Fidelio) och kornsorten Henni var relativt lika varandra (bild 1 och tabell 2). Havre (Belinda och Petra) hade ett något högre värmevärde, trots att askhalten samtidigt var större.

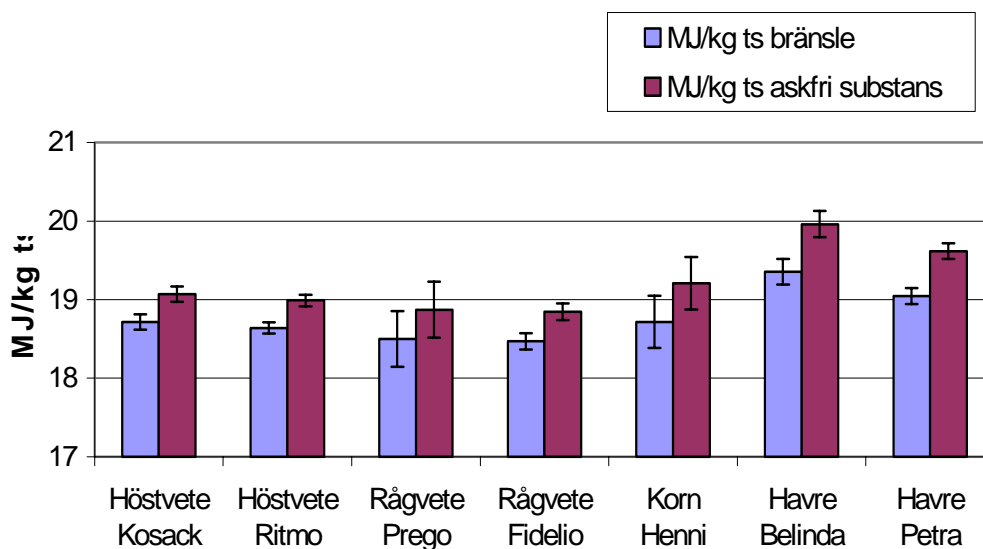


Bild 1. Registrerade kalorimetriska värmevärden hos undersökta prov av kärna: medelvärden och standardavvikelser (tre analyser per sort = per stapel).

Tabell 2. Registrerade värmevärden hos de undersökta proven av kärna: medelvärden och standardavvikelser (inom parentes) (tre analyser per sort).

Värmevärde	Höstvetes		Rågvetes		Korn	Havres	
	Kosack	Ritmo	Prego	Fidelio	Henni	Belinda	Petra
Kalorimetriskt MJ/kg ts bränsle	18,72 (0,10)	18,64 (0,07)	18,50 (0,36)	18,47 (0,10)	18,72 (0,33)	19,35 (0,17)	19,04 (0,10)
Effektivt MJ/kg bränsle (15 % fukthalt)	14,44	14,37	14,25	14,23	14,44	14,98	14,71

Kommentar:

Det högre värmevärdet hos havre beror sannolikt åtminstone till en del på att havre generellt sett har en högre fetthalt (tabell 3). Enligt Larsson (2001) har sorten Belinda och Petra genomsnittliga fetthalter som är 6,1 % respektive 4,3 %. Ett prov av sorten Matilda avsedd som foder för hästar och med extra hög halt av fett (9,9 %) innehöll 20,1 MJ/kg ts (Hadders, opublicerat).

Tabell 3. Schablonvärden för fetthalt i spannmål enligt Spörndly (1999).

Spannmål	fetthalt (%)
Havre	6,5
Korn	2,8
Vete	2,5
Råg	2,0
Rågvete	2,6

De funna kalorimetriska värmevärdena är jämförbara med typiska värden för halm, som enligt Axenbom (1991) ligger kring 18,6 MJ/kg ts, och för vårskördad rörfen 18,8 MJ/kg ts (Burvall 1998). Trädbränslen däremot har ett något högre värmevärde. Vid handel med trädbränslen används ofta värdet 20,4 MJ/kg ts.

Askhalt

Variationerna i askhalt för de undersökta vetesorterna var mycket små (bild 2) och låg nära mätosäkerheten för analysmetoden, vilken är $\pm 5\%$ (relativ standardavvikelse). Askhalten var signifikant högre hos korn och havre.

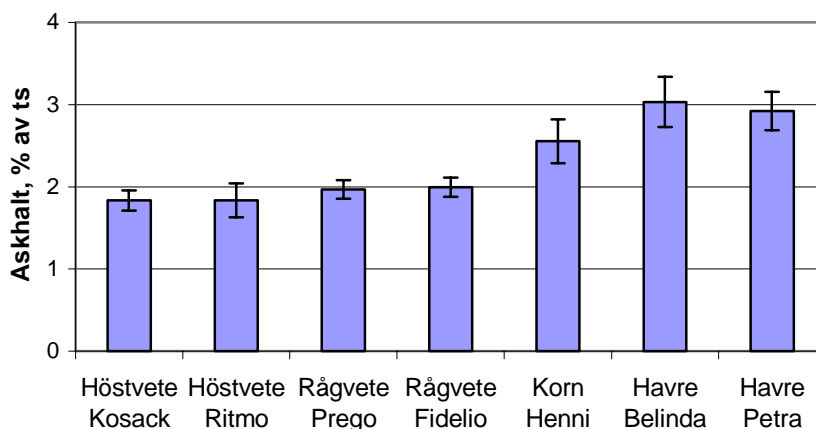


Bild 2. Registrerad askhalt hos undersökta prov av kärna: medelvärden och standardavvikelser (14-16 analyser per sort = per stapel).

Kommentar:

Havren hade inte odlats på jordar med i genomsnitt högre lerhalter än vete (tabell 4) varför detta inte kan vara förklaringen till de högre askhalterna. Skillnaderna torde i stället bero på växtslagets varierande upptag av kisel.

I tidigare litteratur har konstaterats att kiselhalten hos havre varit direkt relaterat till koncentrationen av kiselsyra i marklösningen och mängden transpirerat vatten. Perent (flerårigt) rajgräs och vete tar upp mer kisel ur marklösningen än vad som passivt följer med vid transpirationen. Kiselinnehållet hos råg, ris, fräken och solrosor ökade proportionellt med stigande kiselkoncentration i markvätskan (Kirchmann & Ericsson, 1987).

Tabell 4. Medelvärden och standardavvikelser (inom parenteser) för lerhalten i de jordprov som varit kopplade till studerade spannmålsprov.

Sädesslag/sort	Lerhalt, %	Antal jordprov
Höstvete, Kosack	36,9 (17,5)	15
Höstvete, Ritmo	36,9 (17,5)	15
Rågvete, Prego	28,7 (21,8)	15
Rågvete, Fidelio	28,7 (21,8)	15
Korn, Henni	18,8 (16,4)	15
Havre, Belinda	24,3 (18,7)	16
Havre, Petra	20,2 (15,1)	14

Askans sammansättning

Askans från höstvete och rågvete uppvisade likartad sammansättning (tabell 5 och bild 3). Spridningen i halterna av de analyserade elementen mellan växtplatserna var förhållandevis liten. Resultaten pekar mot att jordförhållandena har liten betydelse.

Tabell 5. Registrerade halter (procent av ts aska) av de nio element som förekommer i högst halt i askan. Medelvärden samt standardavvikelser (inom parenteser), 14-16 analyser per sort.

Sort	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂
Höstvete, Kosack	0,07 (0,05)	3,43 (0,42)	0,48 (0,65)	29,16 (1,44)	11,35 (0,67)	0,24 (0,04)	0,24 (0,13)	46,04 (2,57)	1,07 (0,39)
Höstvete, Ritmo	0,23 (0,68)	3,02 (0,30)	0,30 (0,17)	31,00 (1,43)	9,67 (0,69)	0,21 (0,05)	0,28 (0,14)	42,19 (2,95)	1,79 (3,83)
Rågvete, Prego	0,04 (0,00)	3,27 (0,55)	0,24 (0,04)	31,43 (1,71)	11,16 (0,74)	0,21 (0,07)	0,16 (0,06)	43,43 (2,10)	0,61 (0,13)
Rågvete, Fidelio	0,04 (0,02)	3,55 (0,51)	0,23 (0,04)	32,61 (1,41)	10,24 (0,66)	0,23 (0,08)	0,16 (0,04)	43,19 (3,05)	0,67 (0,22)
Korn, Henni	0,04 (0,01)	2,21 (0,49)	0,20 (0,05)	25,72 (3,00)	7,24 (1,22)	0,07 (0,02)	0,48 (0,29)	32,41 (4,70)	17,14 (5,07)
Havre, Belinda	0,07 (0,10)	4,08 (0,80)	0,20 (0,03)	20,30 (1,85)	6,66 (0,78)	0,22 (0,07)	0,33 (0,18)	29,20 (3,51)	34,19 (7,05)
Havre, Petra	0,04 (0,01)	3,96 (0,51)	0,20 (0,03)	20,09 (1,75)	6,76 (0,84)	0,23 (0,07)	0,28 (0,16)	29,54 (3,22)	35,81 (5,95)

Vete innehöll låga halter av kisel medan korn och framför allt havre innehöll betydligt högre halter.

Fosfor- och magnesiumhalterna var relativt lika för vetesorterna. För korn och havre var innehållet av fosfor och magnesium ca 30 % lägre.

Halterna av natrium, mangan, aluminium och järn var generellt låga i förhållande till andra huvudelement. Dessa ämnens inverkan på askans egenskaper vid så små halter är inte närmare undersökt.

Kaliumhalterna var lägre hos korn och havre än hos vetesorterna.

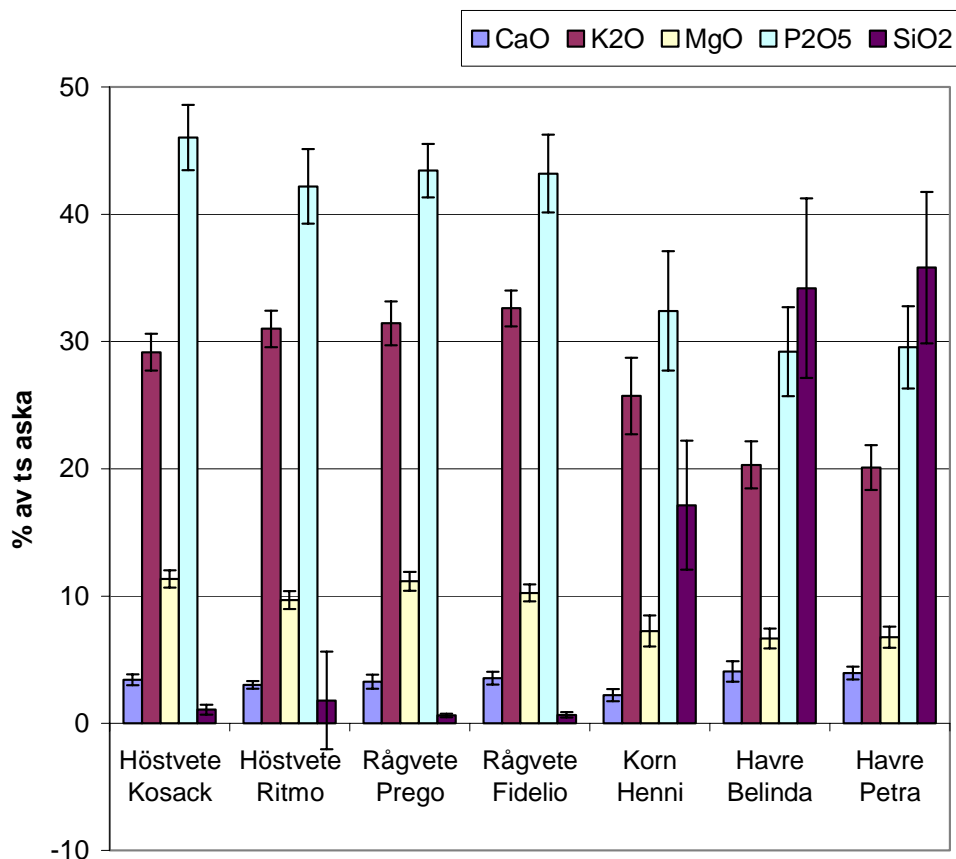


Bild 3. Registrerade halter av huvudkomponenter i askan hos undersökta prov av kärna: medelvärden och standardavvikelser (14-16 analyser per sort = per stapel).

I undersökningen har vi inte funnit något samband mellan lerhalten i jorden och askhalten i det undersökta materialet (bild 4).

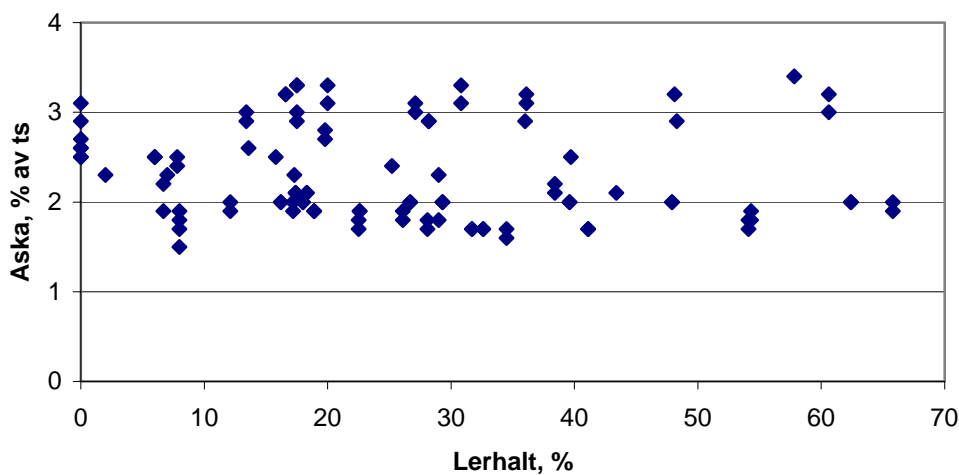


Bild 4. Registrerad askhalt i samtliga prov av kärna som funktion av registrerad lerhalt i motsvarande jordprov.

Kommentar:

Burvall (1998) rapporterar en stark korrelation mellan askhalten i rörflen och motsvarande lerhalt och en mindre tydlig sådan korrelation för halm (bild 5 och 6).

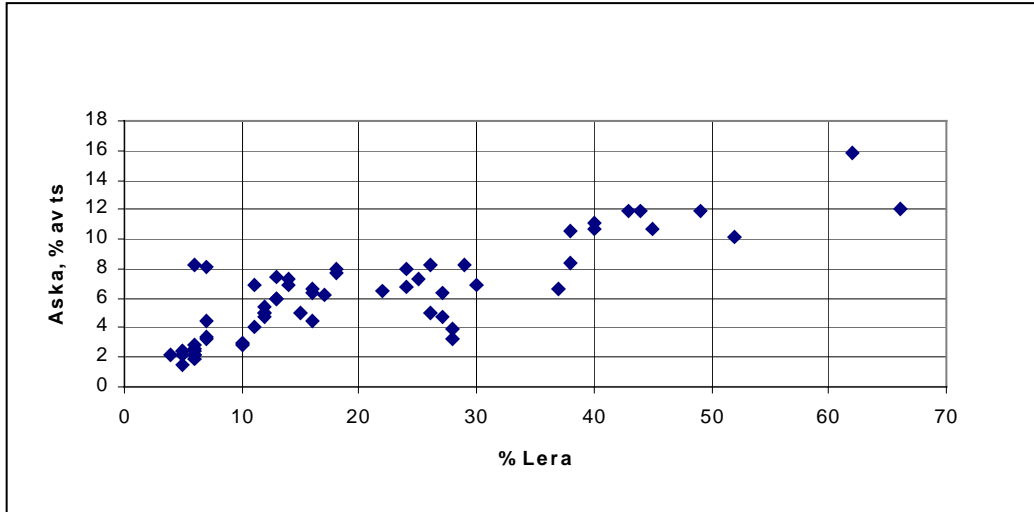


Bild 5. Registrerad askhalt i rörflen som funktion av registrerad lerhalt i motsvarande jordprov (Burvall, 1998).

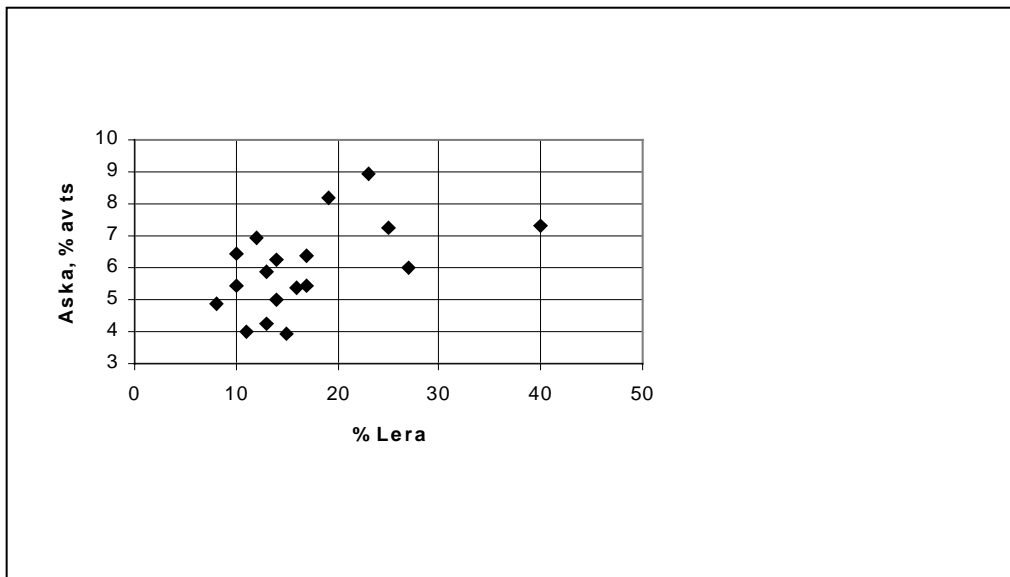


Bild 6. Registrerade askhalt hos halm som funktion som funktion av registrerad lerhalt i motsvarande jordprov (Burvall, 1998).

Halt av kisel i askan

För havre och fall då lerhalten var mindre än 20 % kunde en svag korrelation mellan lerhalt i jorden och kiselhalt i askan noteras (bild 7) medan högre lerhalter inte inverkar på kiselupptaget. I bild 8, som visar askhaltens koppling till kiselhalten, kan tydliga grupperingar av de undersökta proven utläsas.

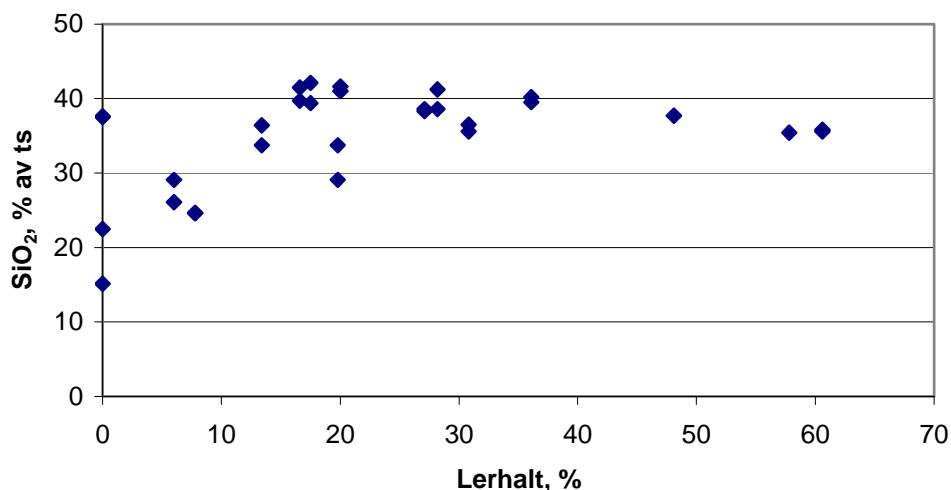


Bild 7. Registrerad halt kisel (SiO₂) i aska från havreproven som funktion av registrerad lerhalt i motsvarande jordprov.

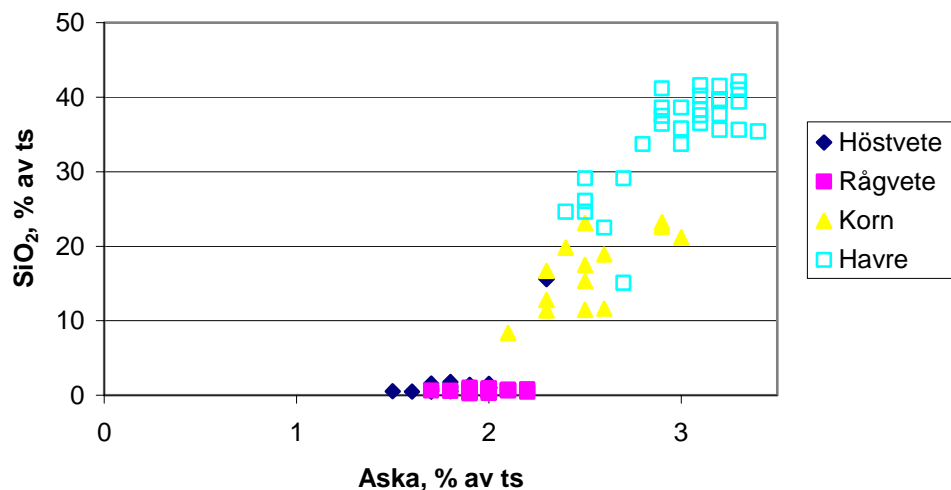


Bild 8. Registrerad halt kisel (SiO₂) i askan som funktion av registrerad askhalt i kärnan, samtliga sädeslag.

Kommentar:

Grupperingen i bild 8 tyder på karaktäristiska skillnader mellan sädeslagen.

Burvall (1998) erhöll en mycket god korrelation mellan askhalten och kiselhalt i askan hos gräset rörfilen (bild 9). Motsvarande korrelation mellan askhalt och

kiselhalt kan, om än inte lika klart, ses i det aktuella materialet för havre och korn. Höstvete och rågvete uppvisar låga kiselhalter, trots att de odlats på växtplatser med hög lerhalt (tabell 4). En stor variation i lerhalten gav liten variation i kiselhalt och ingen korrelation mot askhalten.

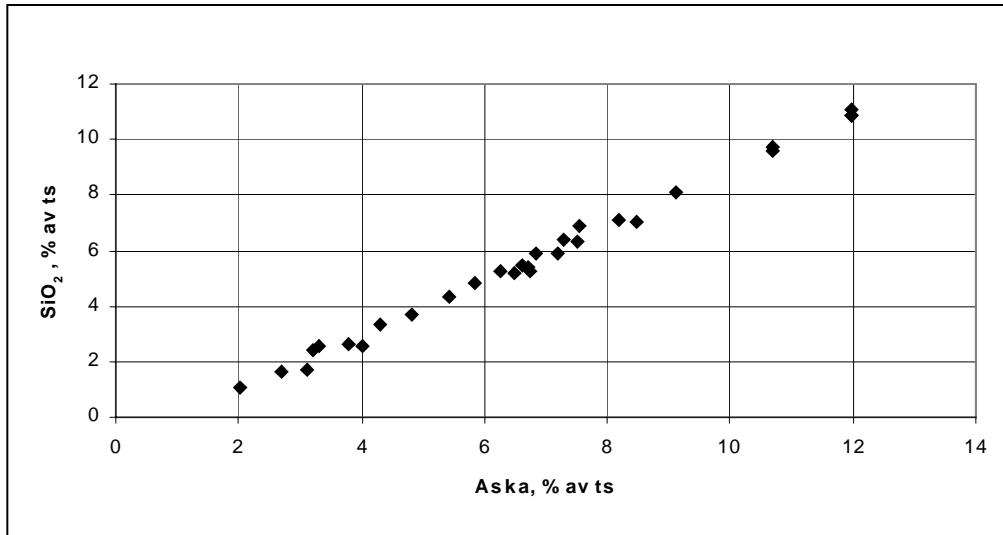


Bild 9. Registrerat samband mellan askhalt och kiselhalt i askan hos gräset rörflen (Burvall, 1998).

Askans smälteegenskaper

Registrerade resultat för askornas smältförlopp visas i bild 10.

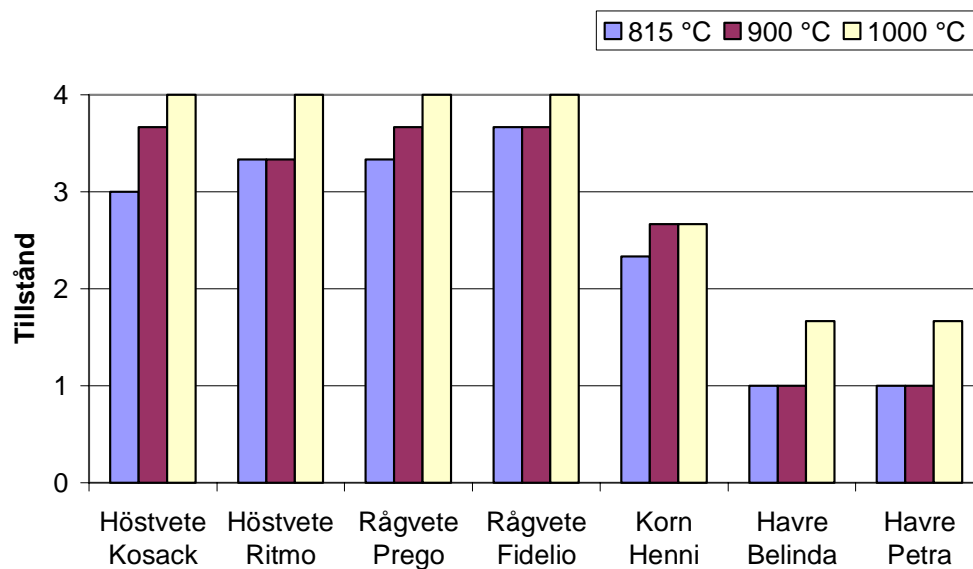


Bild 10. Registreringar av askans smältförlopp vid 815, 900 och 1 000 °C (tre analyser per sort). Askan karakteriserades med hjälp av ett av följande tillstånd. 1: pulver; 2: spröd kaka (beggynnande sintring); 3: hård kaka (sintrad); 4: smält.

Höstvete- och rågveteaskorna uppvisade generellt en låg begynnande asksmälttemperatur, vilket kan förväntas ge stora problem med slaggbildning och påslag vid förbränning. Korn förefaller vara något bättre ur sintringssynpunkt, med reservation för att antalet analyser är begränsat. Havre är däremot klart avvikande från de övriga sädesslagen. En trolig förklaring är det avsevärt högre innehållet av kisel som i förhållande till övriga huvudelement hos askan, däribland kalium, ger högre asksintringstemperaturer. Detta har verifierats i undersökningar av gräset rörflen (Paulrud, 2001). Havre har även vid praktisk eldning rapporterats vara bättre ur asksintringssynpunkt än andra sädesslag (Löfgren, 2001; Äfab, 2001).

Sambanden mellan askans sammansättning och smältförlopp är dock ytterst komplexa. Även förhållandevis enkla system som blandningar av ett fåtal oxider är dåligt undersökta. Ett av de bäst studerade systemen är exemplet rörflen. Där utgör ofta tre oxider (kisel-, kalium- och kalciumoxid) tillsammans över 90 % av askan och de flesta aktuella faser är kända (bild 11) (Paulrud, 2001). Även i detta system finns en del oklarheter och de teoretiska beräkningarna kan kraftigt störas av närvaron av andra element. Ofta ger dock användning av ett sådant fasdiagram en god uppfattning om rörflensaskans smältförlopp (Paulrud, 2001). Något motsvarande fasdiagram för de nu aktuella askorna finns ej beskrivet i litteraturen.

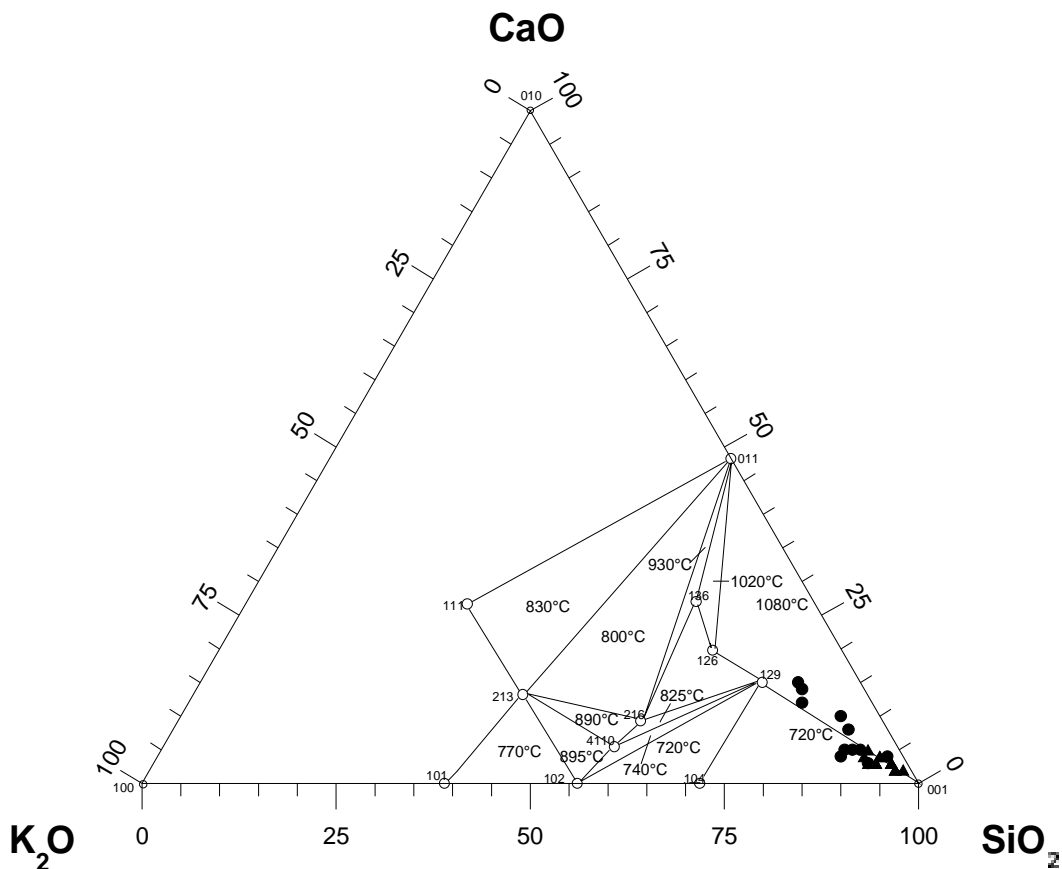


Bild 11. K_2O - CaO - SiO_2 ternärt fasdiagram. Markeringarna i hörnet för SiO_2 visar typiska sammansättningar för gräset rörflen från olika växtplatser (Paulrud 2001).

Multivariat studie av sambanden mellan jordart, askhalt, asksammansättning och askans smältförlopp

För att prediktera askinnehåll i de undersökta spannmålsproven, huvudkomponenter i askan (CaO , K_2O , MgO , P_2O_5 samt SiO_2) samt askan smältegenskaper har modeller beräknats med hjälp av PLS. Härvid har olika indata (x-data) använts vilket framgår av tabell 6. Modeller för alla sädeslag tillsammans, samt också i en del fall för enbart korn och havre, har beräknats.

Tabell 6. Resultaten från PLS-modeller där mätdata från prover av olika sädeslag (alla eller enbart korn och havre) har korrelerats mot olika andra mätta parametrar (y-data) ("Ant. k." = antalet komponenter i modellen).

Modell	Sädeslag	X-data	Y-data	R^2X	R^2Y	Q^2	Ant. k.	Anm.
1	Höstvete, rågvete, korn, havre	Jordarter, sädeslag	Askhalt, CaO , K_2O , MgO , P_2O_5 , SiO_2	0,609	0,624	0,597	2	
2	Höstvete, rågvete, korn, havre	Jordarter, sädeslag, jordens pH-värde	Askhalt, CaO , K_2O , MgO , P_2O_5 , SiO_2	0,670	0,648	0,604	3	Jfr. bild 12, 13, 14
3	Höstvete, rågvete, korn, havre	Alla undersökta metaller	Askans tillstånd vid 815, 900 och 1 000°C	0,657	0,940	0,810	4	Jfr. bild 17
4	Korn, havre	Alla undersökta metaller	Askans tillstånd vid 815, 900 och 1 000°C	0,648	0,989	0,787	3	
5	Höstvete, rågvete, korn, havre	CaO , K_2O , MgO , P_2O_5 , SiO_2	Askans tillstånd vid 815, 900 och 1 000°C	0,920	0,859	0,832	2	
6	Höstvete, rågvete, korn, havre	Askhalt, SiO_2	Askans tillstånd vid 815, 900 och 1 000°C	1,000	0,870	0,847	2	Jfr. bild 15, 16
7	Korn, havre	Askhalt, SiO_2	Askans tillstånd vid 815, 900 och 1 000°C	1,000	0,738	0,518	2	
8	Korn, havre	CaO , K_2O , MgO , P_2O_5 , SiO_2	Askans tillstånd vid 815, 900 och 1 000°C	0,924	0,810	0,461	2	

Prediktion av askhalt och asksammansättning

Resultaten från PLS-modeller för korrelation mellan jordart, jordens pH-värde, sädeslag (höstvet, rågvete, korn, havre) och askhalt, fem metaller visas ovan (tabell 6). Bild 12 visar hur väl modellen beskriver askhalten i proverna samt halterna av de fem metalloxiderna i askan. Förklaringsgraden är hög vad gäller K_2O , MgO , P_2O_5 och SiO_2 . Kalciumoxid kan dock ej predikteras. Detta beror på att variationen avseende CaO i det aktuella materialet är liten varför det funna medelvärdet ger en god uppskattning av halten, även i okända prover.

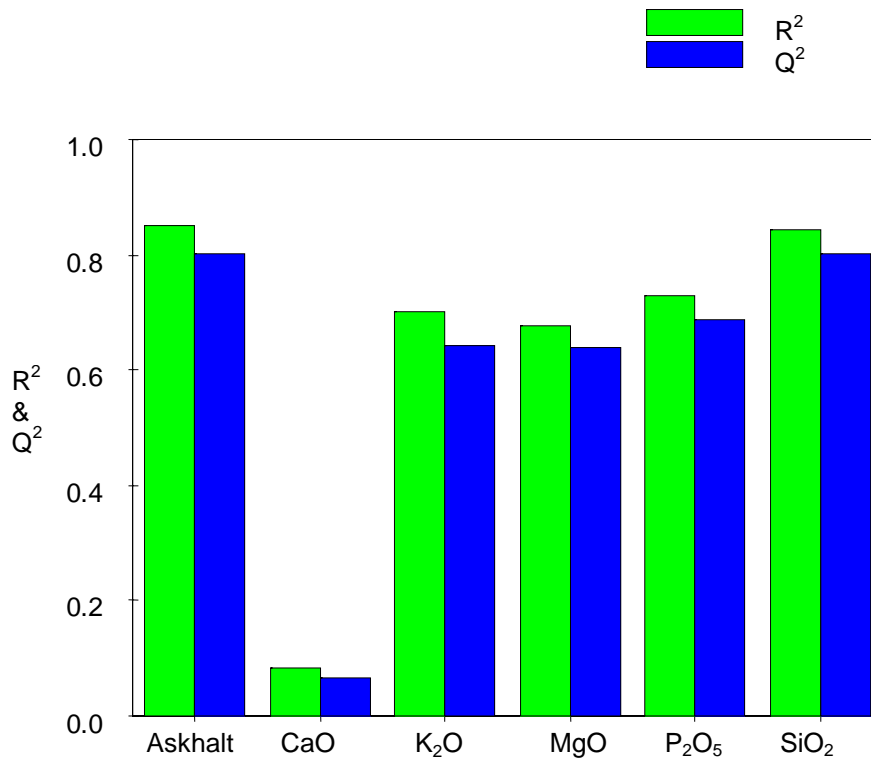


Bild 12. Modellbeskrivning av sex y-variabler (aska, CaO , K_2O , MgO , P_2O_5 och SiO_2) med hjälp av data från jordart, jordens pH-värde och sädeslag. (För förklaringar, se avsnittet "Statistisk bearbetning genom multivariat dataanalys".)

Motsvarande graf av predikterade y i relation till observerade y för exempelvis aska visar mycket bra korrelation ($Q^2 = 0,604$) (bild 13).

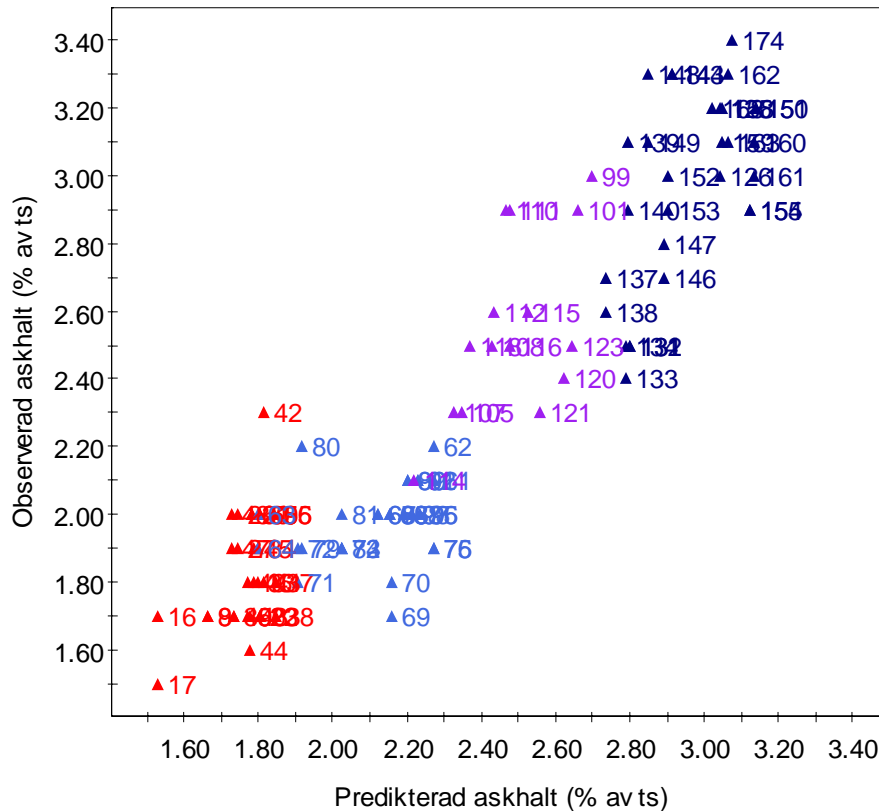


Bild 13. PLS-modellering av askhalt med hjälp av jordartsanalyser, jordens pH-värde och sädeslag.

Betydelsen av ingående x-variabler för modellen framgår av bild 14. Om pH-värdet ingår i modellen (x-matrisen) är prediktionen något bättre än om det inte ingår (modell 1, tabell 6). Som framgår av bild 14 har sädeslag störst betydelse. Därefter kommer i sjunkande betydelse jordens pH-värde samt halterna grus + sand, lera, mull respektive finmo + mjåla.

Ett försök att prediktera askhalt med enbart jordartssammansättning och pH (utan information om sädeslag) gav dåligt resultat. Å andra sidan var spridningen i askhalt inom respektive sädeslag förhållandevis liten (bild 2).

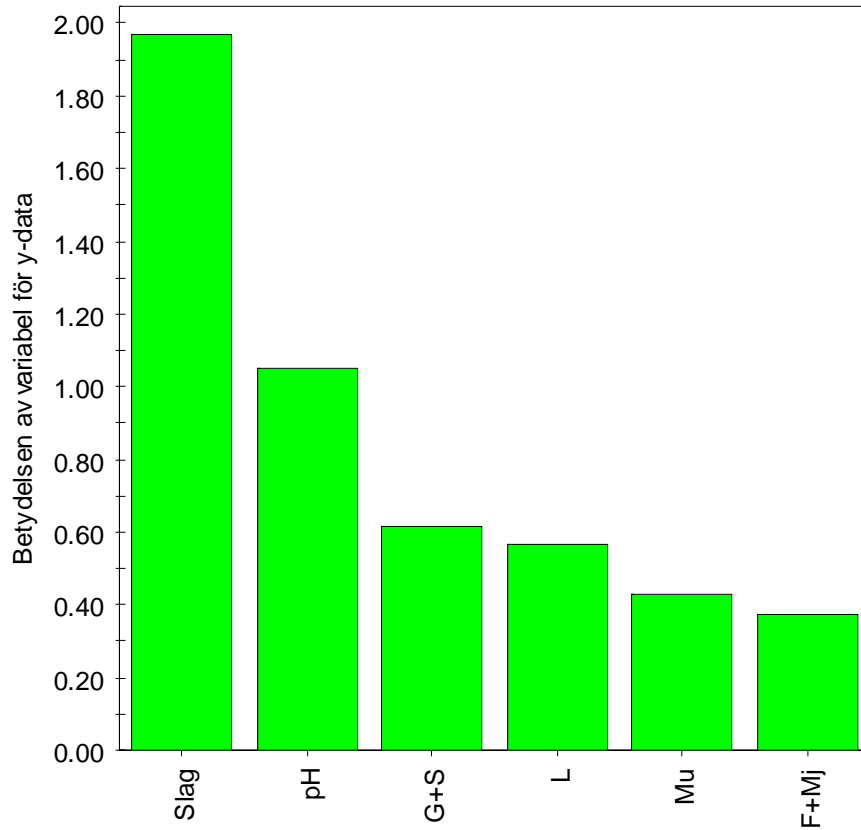


Bild 14. Denna bild visar betydelsen av varje x-variabel för att prediktera hela y-data (aska, fem metaller) i aktuell modell (modell 2, tabell 6). Slag = sådesslag; G+S = halt grus + sand; L = lerhalt; Mu = mullhalt; F+Mj = halt finmo + mjåla.

Prediktion av askans smältförlopp

Resultaten från en PLS-modell där askhalt och halt kisel i askan för alla undersökta sädeslag korreleras mot smälteegenskaper beskriver variationen i data bra ($R^2 > 0,8$), och modellen kan antas ha god prediktionsförmåga ($Q^2 > 0,8$) (tabell 6 samt bild 15). Detta gäller vid samtliga undersökta temperaturer.

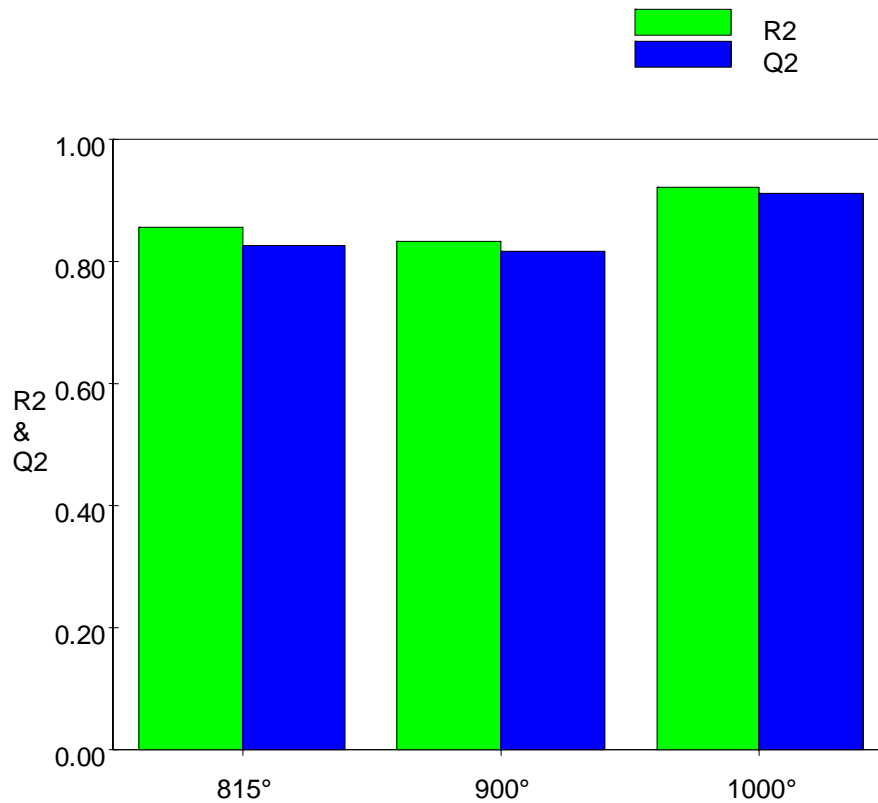


Bild 15. Modellbeskrivning av tre y-variabler (815, 900 och 1 000°C) med hjälp av data om askhalt i kärnan samt kiselhalt i askan för alla undersökta sädeslag. (För förklaringar, se avsnittet "Statistisk bearbetning genom multivariat dataanalys".)

Motsvarande graf av predikterade y i relation till observerade y för exempelvis 815°C visar mycket bra korrelation ($Q^2 = 0,85$) (bild 16).

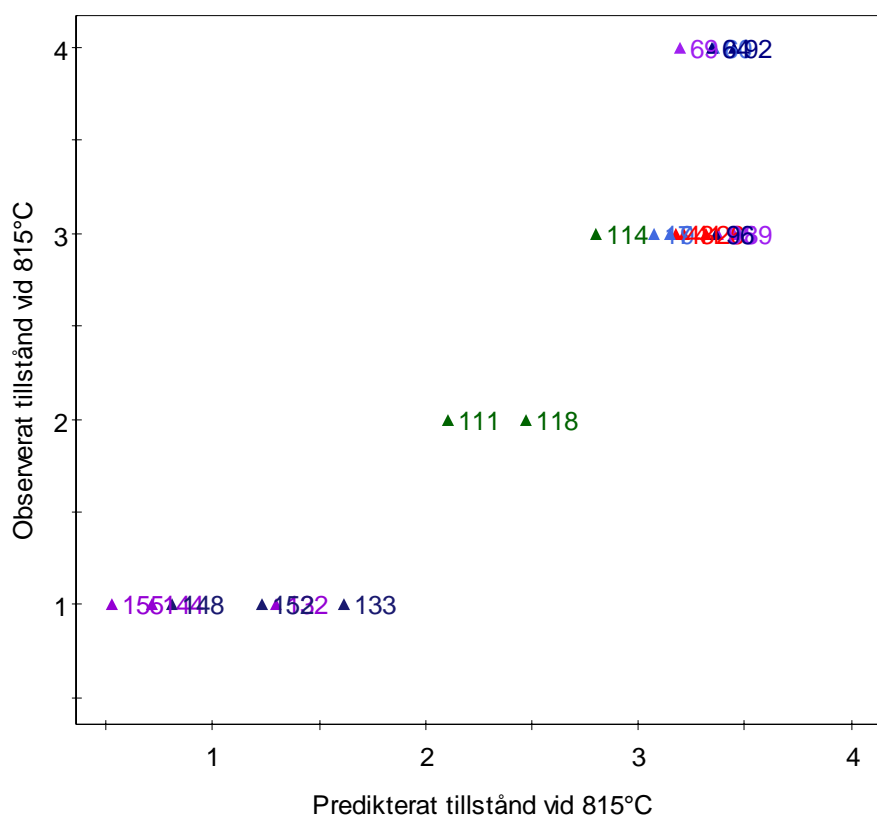


Bild 16. PLS-modellering av smältförlopp med hjälp av askhalt i kärnan och kiselhalt i askan.

Det finns en mycket stark korrelation mellan uppmätta halter av samtliga oxider i askan och askornas smältförlopp när samtliga 21 prover tas med i analysen (3 prover x 7 sorter) ($Q^2 = 0,81$) (bild 17). Detta innebär att goda prediktioner av smältförloppet kan göras vid varierande temperatur. Motsvarande modell för prediktion av smälteegenskaper för enbart korn och havre (modell 4, tabell 6) ger något sämre resultat. Detta beror sannolikt i huvudsak på att antalet data i analysen minskar från 21 till 9 st.

En modell där endast askans huvudkomponenter (fem oxider) utnyttjas ger, då samtliga sädeslag tas med i analysen, en något bättre prediktion med $Q^2 = 0,83$ (modell 5, tabell 6). Modellen är troligen också mer stabil då förklaringsgraden av x -data förbättras ($R^2 = 0,92$) och antalet signifikanta komponenter i modellen kan minskas från 4 till 2.

Enbart askhalt kombinerat med kiselhalt ger också bra resultat (modell 6, tabell 6). Motsvarande modeller för enbart korn och havre (modell 7 och 8, tabell 6) ger betydligt sämre resultat.

En modell för prediktion av smältegenskaper utifrån jordart, jordens pH-värde och sort ger mycket dåligt resultat ($Q^2 = 0,41$ vid samtliga sädesslag) och har därför inte tagits med i tabell 6. Det finns i materialet således inget direkt samband (ingen korrelation) mellan jordart, jordens pH-värde, sort och smältegenskaper, dvs. det går inte att prediktera smältegenskaper hos de olika sädesslagen utifrån data från jordart, jordens pH-värde, sort.

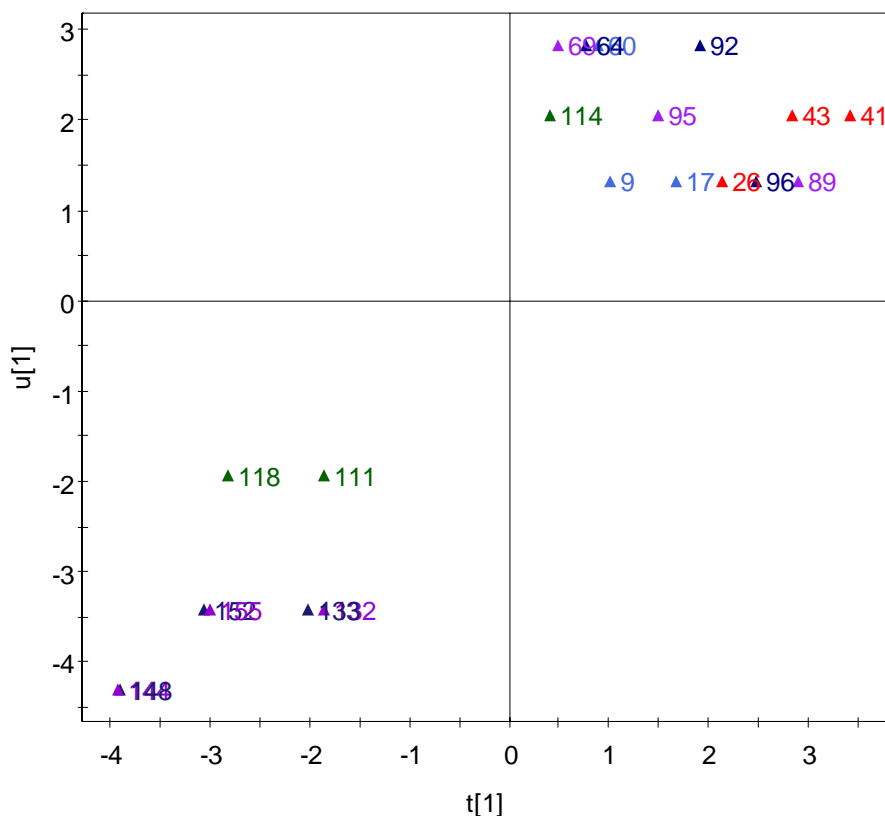


Bild 17. PLS-modellering av sambandet mellan samtliga analyserade metaller i askan och smältförlopp för samtliga sju sorter. Denna bild visar att det finns en mycket stark korrelation mellan x-data (metallhalter) och y-data (tillstånd vid temperaturer 815, 900 och 1 000°C).

Diskussion

Det finns litteraturundersökningar som pekar mot att halten av växttillgänglig kisel syra $\text{Si}(\text{OH})_4$ i marken ökar med stigande lerhalt. Växterna kan grupperas med avseende på kiselupptag enligt följande: växter med aktivt upptag, växter med passivt upptag samt växter som ej tar upp kisel. Jordarten på växtplatsen har för några andra biobränslen, främst för gräset rörflen men även för halm, visat sig ha stor betydelse för innehållet av kisel i dessa växter. Resultaten i den här undersökningen pekar mot att mekanismen för upptag av kisel hos spannmålskärna är betydligt mer beroende av sädesslag och sort än av jordarten.

I undersökningen har konstaterats relativt stora skillnader i bränslekvalitet mellan de undersökta sädesslagen. Detta gäller främst askans kemiska sammansättning och askans smältförlopp. Havre har avvikit mest från korn, rågvete och höstvetete genom betydligt större halt av kisel samt mindre halter av kalium och fosfor,

förhållanden som enligt tidigare befintliga kunskaper om biobränslen förefaller inverka positivt på askans smältegenskaper.

Askans smältegenskaper har mycket stor betydelse vid praktisk förbränning, såväl i mindre gårdspannor som i stora värmeverk. Askan hos vete uppvisar en begynnande smältning redan vid 815°C, ett faktum som kan förväntas medföra stora problem med beläggningar och påslag i pannor. Askan från havre börjar sintra först vid betydligt högre temperatur.

De jordartsprov som utnyttjats i studien har representerat förhållandena på hela försöksytan på aktuellt fält. På försöksytan har funnits hundratals försöksparcer. Spannmålsproven har hämtats från några få av dessa hundratalet ytor. Eftersom Fältforskningsenhetens strävan alltid är att välja platser för försöken med så jämna förutsättningar som möjligt vad gäller odlingsförhållanden, har vi utgått från att det fel som denna förenkling kan ha medfört är försumbart i sammanhanget.

Slutsatser

Jordartens betydelse för bränslekvaliteten hos spannmålskärna förefaller vara av underordnad betydelse.

Studerade sädesslag uppvisar tydliga skillnader i bränsleegenskaper. Olikheten mellan vete och havre är särskilt stor. Skillnaderna gäller främst askans sammanställning och dess smältförlopp samt i viss mån värmevärdet.

Havre är det sädesslag som, utifrån vad man vet om andra biobränslen, borde ha bäst bränsleegenskaper, detta på grund av ett något högre värmevärde men framför allt på grund av en högre asksmälttemperatur.

Resultaten visar att många parametrar går utmärkt att prediktera med hjälp av multivariat dataanalys. Detta innebär exempelvis att man utifrån en elementaranalys av askan kan göra goda prediktioner av smältförloppet vid varierande temperatur.

Referenser

- Axenbom et al., 1991. Halm som bränsle för framtida elproduktion – en sammanfattning av dagsläget. Vattenfall bioenergi, 1991/44.
- Burvall J., Hedman B. & Landström S., 1998. Ståndortens inverkan på bränsle-kvalitet hos stråbränslen. Rapport från Vattenfall Utveckling AB.
- Geladi P. & Kowalski B.R., 1986. Partial Least Squares Regression (PLS): a Tutorial, *Analytica Chimica Acta*, 185 (1986) 1-17.
- Ghaly A.E., Ergudenler A. & Laufer E., 1993. Agglomeration characteristics of alumina sand-straw ash mixtures at elevated temperatures. *Biomass and bioenergy* 5 (1993) 467-480.
- Ghaly A.E., Ergudenler A. & Laufer E., 1994. Study of agglomeration characteristics of silica sand-straw ash mixtures using scanning electronic microscopy and energy dispersion x-ray techniques. *Bioresource Technology* 48 (1994) 127-134.
- Kirchmann H. & Ericsson J., 1987. Kisel i mark och gröda. Aktuellt från Lantbruksuniversitetet nr 358, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Larsson S., 2001. Stråsäd, trindsäd, oljeväxter, potatis: Sortval 2001. Fältforskningsenheten, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Löfgren B.-E., 2001. Utvärdering av Suboro spannmålsbrännare. Äfab, Lidköping.
- Martens H. & Naes T., 1996. *Multivariate calibration*. John Wiley & sons, Inc.
- Paulrud S., Nilsson C. & Öhman M., 2001. Reed canary-grass ash composition and its melting behaviour during combustion. *Fuel*, 80 (2001) 1391-1398.
- Spörndly R., 1999. Fodertabeller för idisslare 1999. Rapport 247, institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Västsvenska Lantmän, 1990. Protokoll Ö-1709 från Analycen, Lidköping. Opublicerat.
- Wold S. & Sjöström M., 1998. Chemometrics and Intelligent Laboratory System, 44 (1998) 3-14.
- Äfab, 2001. Elda spannmål i Multiheat 2,5. Rapport 01-02, Lidköping.

Bilaga 1

Bränsledata för spannmålskärna – Sammanställning av funna uppgifter i litteratur och analysprotokoll (*From literature*)

		Kalorimetriskt värmevärde			Content of ashes									
		MJ/kg ts			Askhalt									
					% av ts									
Medel	<i>Average</i>	18,7			1,9									
Min	<i>Minimum</i>	17,8			1,4									
Max	<i>Maximum</i>	19,7			3,1									
Antal uppgifter	<i>Number of observations</i>	32			34									
		Ca	Mg	Na	K	Al	C	H	N	O	S	Cl	Si	P
		Kalcium	Magnesium	Natrium	Kalium	Aluminium	Kol	Väte	Kväve	Syre	Svavel	Klorid	Kisel	Fosfor
		g/kg ts	g/kg ts	mg/kg ts	g/kg ts	mg/kg ts	% av ts	% av ts	% av ts	% av ts	g/kg ts	g/kg ts	mg/kg ts	% av ts
Medel		0,48	1,11	83,2	5,10	9,06	45,8	6,93	1,86	46,0	1,26	0,96	102	0,33
Min		0,3	0,7	11,8	3,5	2,3	42,3	6,0	1,0	42,9	0,8	0,5	17	0,045
Max		1,3	1,95	320	9,87	60	48,0	7,6	2,9	48,9	2,0	1,7	475	0,44
Antal uppgifter		147	145	145	147	144	30	30	32	29	29	29	25	123
<i>Melting behaviour of ashes:</i>		Askans smältförlopp (ISO 540), °C			Smältförlopp (ASTM D 1857), °C		Flyktiga beståndsdelar (<i>Volatile matter</i>)							
		Mjukning	1/2 sfär	Flytande	IT	FT	% av ts							
Medel		684	799	851	1075	1163	85,8							
Min		625	680	712	660	820	83,9							
Max		820	1005	1025	1400	1440	87,1							
Antal uppgifter		23	23	23	6	3	23							
		Fe	Zn	Cu	Mn	Se	Al	Sr	Cr	Ni	Cd	Hg	Pb	
		Järn	Zink	Koppar	Mangan	Selen	Aluminium	Strontium	Krom	Nickel	Kadmium	Kvicksilver	Bly	
		mg/kg ts	mg/kg ts	mg/kg ts	mg/kg ts	mg/kg ts	mg/kg ts	Mg/kg ts	mg/kg ts	mg/kg ts	mg/kg ts	mg/kg ts	mg/kg ts	
Medel		50,4	30,0	3,5	23,6	0,038	9,5	2,0	<10	<5	<5	<5	13,0	
Min		30	17	1,2	11	0,01	3	1						
Max		116	53	7	67	0,17	60	7,3						
Antal uppgifter		121	122	121	121	67	121	121	1	1	1	1	1	

JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2001-09-29, Gunnar Hadders (för referenser, kontakta författaren)

Instruktioner för tagning av prov ur spannmål

(UR STANDARDFÖRESKRIFTER GEP-SLU-m/v 2001 FÄLTFORSKNING
Mark/Växt)

SF 34 Skörd av spannmål / fröer. Uttagning av skördeprov

För bestämning av olika kvalitetsegenskaper fordras prov av skördeprodukterna. Försöksplanen skall innehålla anvisningar om vilka prov som skall tas ut, hur de skall hanteras, samt vart de skall sändas för vidare analys. Allmänna krav finns även i SF 7.

Det är mycket viktigt att fröprover av spannmål, oljeväxter och trindsäd vägs ut snarast efter, eller i samband med, skörden och vägningen av rutskördarna. Proven skall vara representativa för skörden. Vid hopslagning av rutvisa prover till ledvisa prover skall man eftersträva att ta lika stora delprov från var och en av de i ledet ingående rutorna. Prover till Provcentralen uppvägs i luftgenomsläppliga provpåsar och torkas innan de skickas till Uppsala.

Provmängder: Den minsta provmängd som skall tas framgår normalt av försöksplanen. Minsta provmängd måste anges om provcentralen skall spara prover samtidigt som ett delprov skall skickas för kemisk analys, provbakning etc. till annat laboratorium (provbakning kräver t.ex. att den utvägda provvikten ökas med ca 1 kg). Om försöksplanen inte anger krav på provvikter, väger man ut prover enligt ett av följande alternativ:

1. Utvägning av prover till exakt 1000 gram. Skriv 1000g på provetiketterna om detta ej redan står där.
2. Vägning av aktuella nettovikter. Man skriver då nettovikten på provetiketten. Provernas vikt måste vara minst 900 och högst 1100 gram.

Om uttagning och hantering av jordprover

(Ur instruktioner från Fältforskningsenheten vid Sveriges lantbruksuniversitet)

Om inget övrigt preciseras skall endast ett generalprov tas ut i matjorden, 0-20 cm djup, för bestämning av mullhalt och jordart. Provet tas så snart nya försök utlagts och mätts in eller, för långliggande försök, vanligen under perioden oktober-mars.

Vid uttag av jordprover skall varje prov bestå av ett antal delprov. Antalet delprov skall vara totalt minst 10 för matjord. Provvolymen för det sammanlagda jordprovet skall vara minst 0,5 liter. Ett generalprov från försöksplatsen skall, om ej annat anges, bestå av ett delprov från varje ruta. (De prov av spannmål som har analyserats avseende bränsleegenskaper har representerat en "ruta" - förf. anm.)

Kornstorleksfördelningen i mineraldelen från prov tagna i länen N, F, G, H, och K, dvs småländska högländet med omland, har analyserats enligt fullständig siktning/sedimentering (Svensk standard 027 123 – 24 U 2) av HS Miljölab AB. Om mullhalten är liten (<10 %) ingår den i mineraldelen. Om halten är större sällas eller tvättas mullen bort före siktning.

Övriga jordprov har analyserats enligt en förenklad metod som används vid FFE/Provcentralen, SLU, Ultuna. Den förenklade metoden bygger på en studie utförd 1976 på 660 olika jordar av intendent Sören Kälvesten vid SLU. Han gjorde en omfattande jämförelse mellan denna metod och den traditionella bestämningen av fina jordarter genom sedimentering. Det visade sig att man kunde nöja sig med att bestämma de grövre fraktionerna och indirekt beräkna finmo-mjåla-ler-halter utifrån hygroskopicitet och grövre fraktioner. Man fick god överensstämmelse med sedimenteringsmetoden (korrelationskoefficient $R = 0,95$).

Analys av mullhalt och jordart - förenklad metod

Vid orienterande jordartsbeskrivning bestäms följande fraktioner vilka tillsammans utgör 100 % av jordprovet:

Parameter	Bestämningsmetod
Mullhalt, %	En kombination av glödningsförlust samt hygroskopicitetsmätning
Lerhalt, %	En kombination av glödningsförlust samt hygroskopicitetsmätning
Grovmo+sand, %	Siktning
Finmo+mjåla, %	Beräknas som differensen 100 % – ovanstående fraktioner

Uppdelningen av mineralsubstansen i de tre angivna fraktionerna kan lätt åstadkommas med den förenklade texturanalysen som därför lämpar sig väl för rutinanalyser. Anledningen till valet av gränsen mellan grovmo och finmo – partikelstorleken 0,06 mm – är att den utgör ett gränsvärde för separation genom siktning. Någon enkel analysmetod för en fullständig uppdelning av mineralsubstansen

enligt den Atterbergiska korngruppsskalan i ler, mjåla, mo och sand syns inte föreligga. Man försökte ta fram enkla metoder för att särskilja fraktionerna mo och mjåla men lyckades ej.

Att lägga en gräns mellan finmo och grovmo är ur fysikalisk synpunkt väl motiverat eftersom många texturbetingade egenskaper ändras markant vid denna kornstorleksgräns. Denna gräns är också mycket använd i andra länder. Geotekniker i Norden har också accepterat denna klassgräns och infört begreppet 'silt' för fraktionerna 0,002-0,06 mm. Fraktionsgränserna för ler, 'silt' (finmo) och sand ansluter sig också till den internationella s.k. texturtriangeln.

Den förenklade redovisar ej separat halterna av de fyra grupperna ler, mjåla, mo och sand. Istället förs finmo till mjåla-fraktionen och grovmo till sandfraktionen. Förenklad analys ger normalt tillräcklig information för växtodlings- och växt-näringsförsök. Ur växt-närings-synpunkt är de kemiskt och biologiskt aktiva komponenterna mull och ler de mest betydelsefulla och dessa parametrar bestäms med stor noggrannhet i den förenklade metoden. Metoden bör även ge ett acceptabelt underlag i fysikaliska sammanhang, t.ex. för praktisk jordbearbetning. I de fall man dock vill ha en fullständig bestämning får gängse skitnings/slammings metoder användas.

I den förenklade metoden görs ingen bestämning av huruvida jorden är av sedimenterings- eller moräntyp. Denna uppgift bedöms subjektivt i första hand av den som tar jordproverna i fält eller i andra hand av den som tar emot det obehandlade provet. I den förenklade metoden ingår finmo-fraktionen i det som benämns mjåla. Egentligen kunde man överväga att kalla fraktionen finmo+mjåla för 'silt' enligt internationell nomenklatur. Dock är begreppet mjåla och dess brukningsegenskaper väl inarbetat i praktiskt jordbruk.

Mullhalten bestäms i den förenklade metoden genom glödgningsförlust och ej som organiskt kol. Man har dock en mycket god korrelation mellan dessa två bestämningsmetoder. Noteras bör att man ofta behöver tillgripa speciella analysmetoder för att säkert bestämma förändringar av mullhalter i långliggande försök.

Ytterligare information om den förenklade metoden finns att hämta på adressen

<http://www.ffe.slu.se/FFE/Fdb/Fdbjorde.htm>

samt i "Orienterande jordartsbestämning" av Lars-Gunnar Nilsson, Inst. för Markvetenskap, SLU (PM skrivet 1975-07-09). Skriften kan fås genom att kontakta Provcentralen vid SLU, Uppsala.

Figure and table texts in English

Figure 1. Recorded calorific heat values: mean values and standard deviations for all grain samples (three per variety).

Figure 2. Recorded content of ashes: mean values and standard deviations for all grain samples (14-16 per variety).

Figure 3. Recorded contents of main elements in the ashes of the grains: mean values and standard deviations for all samples (14-16 per variety).

Figure 4. Recorded content of ashes in all grain samples related to the recorded content of clay in corresponding sample from soil at the growing site.

Figure 5. Recorded content of ashes in Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea*) related to the recorded content of clay in corresponding sample from soil at the growing site (Burvall, 1998).

Figure 6. Recorded content of ashes in cereal grains related to the recorded content of clay in corresponding sample from soil at the growing site (Burvall, 1998).

Figure 7. Recorded content of silica (SiO_2) in the ashes from oats related to the recorded content of clay in the corresponding soil sample.

Figure 8. Recorded content of silica (SiO_2) in the ashes related to the recorded content of ashes, all species.

Figure 9. Recorded correlation between content of ashes and silica (SiO_2) in the ashes of Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea*) (Burvall, 1998).

Figure 10. Documentation of the melting behaviour of the ashes at 815, 900 and 1 000°C. The ashes were characterised by one of the following descriptions: 1: powder; 2: crusty cake (early stage of sintering); 3: hard cake (sintered); 4: melted.

Figure 11. K_2O - CaO - SiO_2 ternary phase diagram. The markings in the corner for SiO_2 shows some typical compositions in Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea*) from some different growing sites (Paulrud 2001).

Figure 12. Description of a model for six y variables (ashes, CaO , K_2O , MgO , P_2O_5 and SiO_2) predicted from data on soil composition, pH-value and species.

Figure 13. PLS modelling of the content of ashes with the help of data on soil composition, pH-value and species.

Figure 14. This figure shows the importance of each x variable for the prediction of the entire y data (ashes and five metals) in model 2 (table 6). Slag = species; G+S = content of gravel + sand; L = content of clay; Mu = content of organic matter; F+Mj = content of silt.

Figure 15. Description of a model for three y variables (815, 900 and 1 000°C) using data on the content of SiO_2 in the ashes and the ash content in the grain samples, all species.

Figure 16. PLS modelling of the melting behaviour of the ashes predicted from data on the content of SiO₂ in the ashes and the content of ashes in the grain sample.

Table 1. Number of samples available of cereal species and number of samples analysed. Winter wheat (two varieties), winter triticale (two varieties), barley, oats (two varieties); available samples, content of ashes, content of metals in the ashes, melting behaviour of the ashes, heat values.

Table 2. Recorded heat values: mean values and standard deviation (within parentheses) for all samples (three samples per species). Calorific heat value, MJ/kg d.m. fuel; Effective heat value, MJ/kg fuel.

Table 3. Pattern values for the content of fat in cereal grains (Spörndly, 1999). Oats, barley, wheat, rye, winter triticale.

Table 4. Mean values and standard deviations (in brackets) for the content of clay in the soil samples corresponding to the studied grain samples, and number of soil samples. Winter wheat, winter triticale, barley, oats.

Table 5. Recorded contents (% of d.m. of ashes) of those nine elements occurring in the highest concentration in the ashes. Mean values and standard deviations (in brackets).

Table 6. Results from several PLS models, where cereal species are correlated against the recorded parameters (y-data). "Ant. k." = number of components in the model; "Jordart" = soil composition.