



On-lineanalys av flyt-gödselkvalité



Bo Stenberg & Kjell Gustafsson

Institutionen för mark och miljö
Precisionsodling och Pedometri

Precisionsodling Sverige
Teknisk Rapport nr 41
Skara 2018
ISSN 1652-2826

Förord

Stallgödsel är en viktig källa till växtnäring, men utnyttjandegraden är ofta låg. Ofta är också kontrollen på hur mycket näring man sprider per hektar dålig. Målsättningen med den nu presenterade studien är att redogöra för möjligheten att med sensorteknik kontinuerligt mäta näringsinnehåll och torrsubstans i flytgödsel, antingen under spridning eller vid fyllning. Vi vill också skaffa oss en uppfattning om hur mycket gödselns kvalitet kan variera mellan och inom spridarlass under vanlig gårdsspridning. Vi har använt nära infraröd spektroskopi som redan visat sig ha en god potential. I studien som är finansierad av SLF och utförd av organisationer inom Precisionsodling Sveriges (POS) nätverk fokuserar vi på nötflytgödsel.

Författarna

Skara, februari 2018

Bild framsida: Bo Stenberg

Innehållsförteckning

<i>Förord</i>	2
<i>Innehållsförteckning</i>	3
<i>Sammanfattning</i>	4
<i>Summary</i>	5
<i>Bakgrund</i>	6
<i>Material och metoder</i>	7
<i>Provinsamling</i>	7
<i>Analys av prover med NIR-spektroskopi i flöde</i>	7
<i>NIR-analys i labb</i>	8
<i>NIR-analys vid spridning i fält</i>	8
<i>Referensanalyser</i>	10
<i>Databearbetning och beräkningar</i>	11
<i>Resultat</i>	11
<i>NIR-mätningar i testrigg respektive labb</i>	12
<i>Fältmätningar</i>	13
<i>Diskussion</i>	14
<i>Slutsatser</i>	16
<i>Referenser</i>	16
<i>Erkännande</i>	17
<i>Bilaga 1</i>	18

Sammanfattning

Stallgödsel är en viktig källa till växtnäring, men utnyttjandegraden är ofta låg. Ofta är kontrollen på hur mycket näring man sprider per hektar dålig. Målsättningen med den nu presenterade studien är att redogöra för möjligheten att med sensorteknik kontinuerligt mäta näringsinnehåll och torrsubstans i flytgödsel, antingen under spridning eller vid fyllning. Vi vill också skaffa oss en uppfattning om hur mycket gödselns kvalité kan variera mellan och inom spridarlass under vanlig gårdsspridning.

Vi analyserade gödsel från 55 mjölkobesättningar med konventionella labbmetoder och med nära infraröd spektroskopi (NIR) som är sekundsnabb och inte kräver någon provpreparering och därmed kan mätas direkt i fält. Resultaten visar att variationen mellan gödsel var mycket stor och att riktvärden inte är relevanta att använda på gårdsnivå. Vi såg även att totalkväve, organiskt kväve och totalkol i gödseln var starkt korrelerad till torrsubstansen. Dessa fyra kvalitetsparametrar gick utmärkt att bestämma med NIR medan totalfosfor gick relativt bra. På två gårdar undersöktes variationen mellan och inom spridarlass. Variationen bestämdes med NIR-teknik som sekundvis mätte under spridning. Variationen var större på den ena gården än den andra, men avsevärt mindre än mellan gårdar. Användaranpassad teknik förväntas kunna fungera i fält.

Summary

Cattle manure is an important plant nutrition source, but control over the amount of nutrients spread is often bad. The aim with this report is to explore the potential of sensor technology to continuously measure the nutrient and dry matter content in slurry, either during spreading or during filling the spreader tank. We also want to get an idea of the magnitude of variation of slurry quality between and within spreader tanks during ordinary farm site application.

We analyzed manure from 55 dairy farms by laboratory methods and near infrared spectroscopy (NIR) which is very fast without the requirements of sample preparation. NIR can be measured directly in the field. The variation between manures was very high suggesting that guideline values are not relevant to use at the farm. Total nitrogen, organic nitrogen and total carbon in the manures were strongly correlated to dry matter. These four quality parameters were very efficiently determined by NIR. Total phosphorus was relatively well determined. At two farms variation between and within spreader loads were investigated. The variation was determined by NIR measuring manure quality every second while spreading. The variation was greater on one farm than the other, but significantly less than between farms. User-adapted technology is expected to work well in a field situation.

Bakgrund

Flytgödsel är ett mycket viktigt gödselmedel med ett betydande innehåll av växtnäringsämnen kväve (N), fosfor (P) och kalium (K). Dessutom tillförs mullbildande ämnen och många viktiga mikronäringsämnen. Enligt aktuell statistik (Sveriges officiella statistik 2017) tillfördes 2015/16 genom ställgödsel 16 % av det växttillgängliga kvävet, 58 % av fosfor och 75 % av kaliumet. Dessutom hanterades 82 % av mjölkkgödseln som flytgödsel. Enligt de fåtal sammanställningar som finns varierar växtnäringsinnehållet i flytgödsel väsentligt beroende på djurslag och utfodringsintensitet, sammansättning av foder och strömedel och inblandning av vatten. Dessutom kan ammoniakförluster under lagringen och omrörning innan provtagning och spridning påverka kväveinnehållet. Enligt Martínez-Suller et al. (2010) kan ts-halten och växtnäringskoncentrationer inom gödseltyper variera med uppemot 50 % av medelvärdet. I ett eget material med ungefär 30 gödsel vardera av nötflyt, svinflyt och rötrest (Stenberg & Gustafsson, 2012) bekräftas siffrorna genom att variationen var minst 25 % av medelvärdet beroende på gödseltyp och kvalitetsparameter.

Många gårdar skickar in ett prov för analys som skall vara representativt för gården. Några gårdar eller spridarentreprenörer har investerat i en utrustning som kan mäta innehållet av ammonium-kväve (Agros kvävemätare; www.agros.se). I den utrustningen ingår också en ts-mätare (flytkropp) med vars hjälp man kan skatta gödselns fosforhalt. I materialet ovan (Stenberg & Gustafsson, 2012) förklarade ts-halten bara mellan 60 och 70 % av fosforhalten, men framförallt är det mycket svårt att ta ut representativa prov ur en stor gödselbrunn (Petersen et al., 2005) och det analyseras normalt inte så många prover. Det finns också en risk att gödseln skiktar sig på väg ut till fältet. Även om spridarutrustning normalt är utrustade med omrörare är det vanligt att denna inte används eftersom den tar kraft. Genom att georefererat registrera gödselns kvalitet under spridning skulle antingen givan kunna anpassas under spridningen eller så kan efterföljande gödslingsgivor varieras. Det har inte gått att hitta uppgifter på hur mycket växtnäringsinnehållet kan variera inom och mellan tunnor under spridningen så det går i dagsläget inte att värdera betydelsen av variation vid enskilda spridningstillfällen.

I det projekt vi här redovisar resultat från användes NIR-teknik (nära infraröd reflektans) som visat sig användbart till kvalitetskontroll i olika typer av processflöden, särskilt av organiska material som livsmedel och bränslen (Williams & Norris, 2001). Det finns även ett fåtal tidigare studier som på labb visat på mycket goda möjligheter att använda NIR för kvalitetsbestämning av flytgödsel (Sörensen et al. 2007; Mouazen & Ramon, 2005). I båda fallen lyckades man bestämma ts-halt, totalkväve, ammonium och fosfor med god eller relativt god precision. Den danska studien (Sörensen et al., 2007) har dessutom resulterat i en laboratorietjänst med svar samma dag.

Modern NIR-utrustning har mycket kort exponeringstid. Analys kan därför ske i flöden och i stort sett kontinuerligt. Andra fördelar är att det är möjligt att tillverka robust och industrikapslade instrument som kan användas i besvärliga miljöer. Tekniken innebär att reflekterat ljus analyseras och detektorerna kan utgöras av fiberoptik som kan monteras i ett mät huvud ett antal meter ifrån själva NIR-sensorn, vilket ökar flexibiliteten. Sammantaget gör detta det fullt möjligt att mäta gödsel som passerar i spridarröret alternativt påfyllningsröret. Detta innebär att analysen sker kort tid innan spridning så att gödseln inte hinner förändras. Dessutom analyseras den vid en smal passage där en relativt stor andel av flödet hela tiden kan mätas och därmed ge ett mycket tillförlitligt medelvärde för den tidsperiod man väljer (Petersen & Esbensen, 2005).

Material och metoder

Provinsamling

Från kommersiella mjölkgårdar inom 5 mils radie till Rådde (15 st) respektive Lanna (40 st) samlades 55 prov in i 200 l tunnor. Proven togs med hink i första hand i pumpbrunn eller direkt i gödselbrunnen. I möjligaste mån blandades gödseln innan provtagning för att erhålla ett representativt prov för stallgödsel i stort. Ambitionen var dock inte att provet skulle representera den specifika gården vid provtagningstillfället. Proven togs normalt ena dagen och analyserades dagen därpå. Provtagningen skedde under vinterhalvåren 2014/2015, 2015/2016 och 2016/2017 för att minimera inverkan av den korta lagringen.

Analys av prover med NIR-spektroskopi i flöde

Ungefär hälften av tunnan hällades i mätriggen tillsammans med 20 ml skumdämpare KemFoamX 2500 (Kemira). För att mäta i en miljö som så långt möjligt liknar den miljö, där mäthenheten kan placeras på en flytgödselspridare eller pumpanläggning, har en speciell mätrigg konstruerats (figur 1A). Vi har återanvänt den mätrigg som togs fram av Naturbruksgymnasiet Sötåsen inom Interreg-projektet BioM. I detta projekt har mätriggen byggts om så att gödselprovets volym kunde halveras. Dessutom har mäthenheten flyttats från ett horisontellt rör till ett vertikalt stigrör. Mätriggens behållare fylldes med den flytgödsel som skulle mätas. Under behållaren sitter en gödselpump typ Cobra som med hjälp av en traktors hydraulsystem pumpar runt gödseln i testriggen. Flödeshastigheten i riggen regleras av motorns varvtal. Mätningarna utfördes vid tre motorvarvtal (700, 1000 och 1300 rpm). Detta eftersom flödet vid verklig spridning kan variera och vi ville att NIR-kalibreringarna skulle inkludera den inverkan som olika flödeshastigheter kan ha på NIR-spektrumen. Vi startade alltid med det lägsta varvtalet och slutade med det högsta.



A



B

Figur 1. De två olika uppsättningarna för NIR-analys. A) Det grå mät huvudet syns monterat på stigröret som cirkulerar provet i behållaren med hjälp av pumpen som skyrtar i botten på behållaren mellan dess stödben. Även kabelslangen som rymmer fiberoptiken samt strömförsörjning till mät huvudets lampa och mekanik syns. B) Labbmätning på representativt delprov i bricka.

Gödselpumpen pumpade gödseln genom ett rörsystem som går utanför behållaren och som returnerar gödseln till behållaren. Mät huvudet är placerat i en vinkelrätt påsvetsad muff på det stigande röret. Det innebär att det röret alltid är fyllt under pågående pumpning. Mät huvudet är

så långt insatt i muffen att huvudets safirglas, genom vilket mätningen sker, ligger i linje med rörets inre mantelyta.

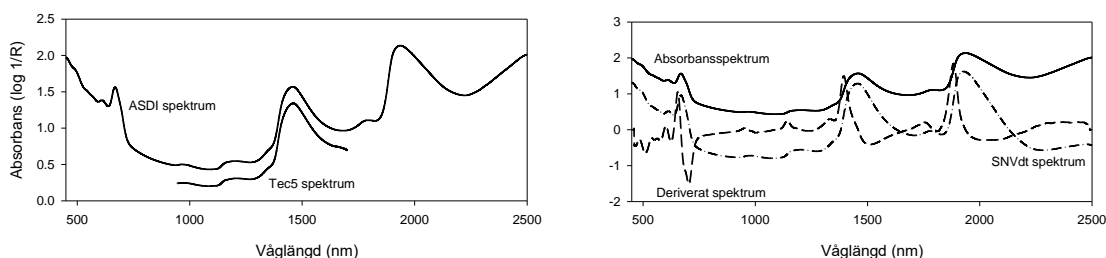
Innan första mätningen blandades provet i mätriggen ordentligt genom att pumpa runt det på lägsta varvtalet i ca: 1 minut. Den kraftiga omrörningen orsakade skumbildning i vissa gödsel varför skumdämpare användes. Därefter gjordes tre mätningar vid varje varvantal med 15-20 sekunders mellanrum. Varje mätning tog ca: 13 sekunder och resulterade i 20 individuella spektrum. Medelvärdet av dessa 60 spektrum användes, efter detektion av avvikare, i kalibreringarna mot referensanalyser.

NIR-instrumentet var ett Tec5 AgroSpec (Tec5, Germany; www.tec5.com) med våglängdsområdet 945-1700 nm inom det nära infraröda området. Upplösningen är 5 nm med ett mätintervall på 1,5 nm, vilket interpolerades till ett värde per nm i resultatfilen. AgroSpec är konstruerad för tuffa miljöer och är damm och stänktålig enligt IP65. Själva mät huvudet, NIRON II, var anslutet till instrumentet med en 10 meter lång fiberoptisk kabel. Mät huvudet innehåller en ljuskälla, en vit referens samt en slutare för *black current* korrigering. Provet belyses genom ett safirglas med 17,25 mm diameter. Reflekterat ljus tas upp av fiberoptiken genom safirglaset och leds till mät dioderna i instrumentet. Mät ytans diameter var 11,5 mm.

Omedelbart efter mätningen när provet fortfarande var väl omblandat togs fyra halvlitersprov i flaskor. Två frystes in varav det ena senare skickad för kemiska referensanalyser och det andra behölls som reserv. De två andra användes för NIR-analys med ett mer högupplöst labbinstrument med bättre signal/brus-förhållande och större våglängdsomfång.

NIR-analys i labb

Direkt efter analys i testriggen hölls två delprov var för sig upp i svartlackerade brickor med 24 cm diameter till ett djup av 4-5 mm. Labbinstrumentet var ett ASDI FieldSpec Pro FR, 400-2500 nm (ASDI, Colorado; www.asdi.com). Upplösningen var 3-10 nm med ett mätintervall på 1,4-2 nm interpolerat till 1 nm. Även med detta instrument användes ett mät huvud anslutet till instrumentets mät dioder med fiberoptik. Mät ytans diameter var 15 mm. Mätningen utfördes medan brickan snurrades försiktigt under 10 sekunder samtidigt som mät huvudets safirglas sänktes ned ca: halvvägs i gödseln (figur 1B). Tio mätningar gjordes i vardera av de två delproven. Ett genomsnitt av de 20 mätningarna användes senare i kalibreringarna mot referensanalyser.



A

B

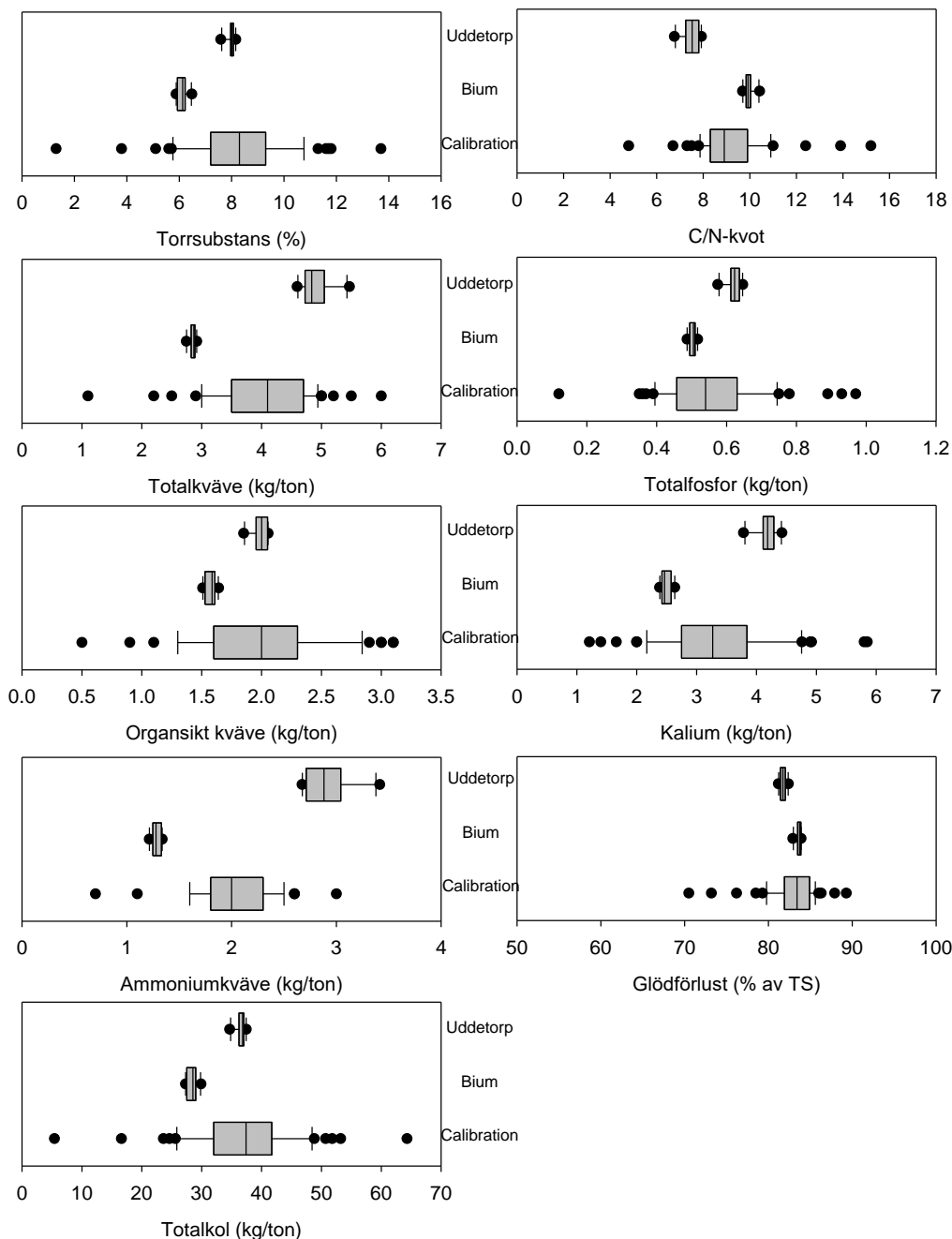
Figur 2. Medelspektrum från ett exempelprov i A) som absorbans mätt med de två olika instrumenten (i flöde respektive på labb) och i B) ASDI-spektrum som absorbans-, derivata- och SNVdt-spektrum.

NIR-analys vid spridning i fält

För att dels få en uppfattning om hur tekniken fungerar i fält vid spridning med en vanlig gödseltunna dels få en uppfattning om hur stor variationen kan vara i en gödselbrunn

respektive i ett lass gjordes kontinuerliga mätningar under spridning av tio tunnor från två mjölkgårdar. Gårdarna var Uddetorps naturbruksskola utanför Skara och Biums lantbruk i Falköpings kommun. Tunnan som användes var en Olbyspridare på 5 m³. Gödseln spreds med motsvarande 40 ton per ha och varje tunna räckte till ca 300 m. Detta tog 3-3,5 minuter och under den tiden sparades 220-260 spektrum. Ts-halten i dessa mätningar predikterades med kalibreringen som gjordes med mätningarna i flöde och motsvarande referensanalys.

Vid spridningen i fält togs delprov i varje lass genom att regelbundet samla ett prov i en hink ur ett av de yttersta spridarmunstyckena längs hela spridningssträckan. Provet frystes och skickades för referensanalys enligt nedan. För att täcka upp eventuell variationer i brunnarna sänktes sugmunstyckena olika djupt för de olika tunnorna och från två olika ställen på brunnen. På Bium spreds dessutom 6 tunnor en dag och 4 tunnor tre dagar senare utan omblandning däremellan, men gården spred själv ca: 200 m³. Innan första tunnan blandades brunnarna med propelleromrörare. Uddetorps brunn rymmer 500 m³ och Biums 1000 m³.



Figur 3. Spridning i referensanalyser för 55 insamlade prov nederst, 10 lass från Bium i mitten och tio lass från Uddetorp överst. Strecket i boxen anger medelvärdet, boxen anger 75-percentilen, spröten 90-percentilen och punkterna de individuella mest extrema proven.

Referensanalyser

Frysta halvlitersprov flytgödsel skickades till Agrilab AB för analys av torrsubstans (Ts; %), totalkväve (kg/ton), ammoniumkväve (kg/ton), organiskt kväve (kg/ton), totalkol (kg/ton), C/N-kvot, totalfosfor (kg/ton), totalkalium (kg/ton) och glödförlust (% av Ts) enligt deras grundpaket plus glödförlust.

Databearbetning och beräkningar

Medelspektrumen enligt ovan transformerades först från reflektansspektrum (R) till absorptionspektrum (A) enligt $A = \log(1/R)$ (figur 2A). Därefter kalibrerades prediktionsmodeller mot referensanalyserna från Agrilab AB med hjälp av den linjära multivariata metoden PLSR (Partial Least Squares Regression; Martens och Naes, 1989) i mjukvaran Unscrambler (Camo Software AS, Oslo; www.camo.com). Kalibreringar gjordes dels direkt på absorptionspektrumen, dels på absorptionspektrumen deriverade genom subtraktion, samt transformerade med SNVdt (Standard Normal Variate detrend; Barnes m.fl., 1989). De två sistnämnda korrigerar för baslinjeförskjutningar samt, förstärker toppar i spektrumen. Derivering har en tydligare effekt än SNVdt (figur 2B). Den kalibreringsmetod som fungerade bäst i validering visas i resultaten.

Kalibreringarna validerades genom fullständig korsvalidering, vilket innebär att ett prov i taget undanhålls kalibreringen och predikteras. Detta upprepas tills alla prov predikterats en gång som valideringsprov. För spektrum mätta i flöde kalibrerades modeller med alla tre flödehastigheter samtidigt och i detta fall hölls de tre hastigheterna ihop i korsvalideringen och undanhölls kalibreringarna samtidigt för att undvika beroende mellan validerings- och kalibreringsprover. NIR-spektrumen mätta i labbmätningen med ASDI-instrumentet användes i kalibreringarna dels i sin helhet (400-2500 nm) och i det omfång som motsvarade mätningarna i flöde med Tec5-instrumentet (945-1700 nm).

Resultat

Spridningen i gödselkvalité enligt referensanalyserna framgår av figur 3. Som väntat är den betydligt mycket större mellan gårdar än mellan lass på det två gårdarna för fältnätning. Det finns flera starka korrelationer i datasetet, framförallt till Ts där total-N, organiskt N och organiskt C intar en särställning och total-P en mellanställning. Dessa korrelerar följdriktigt även till varandra. Total-K, C/N-kvoten och glödförlust (LOI) korrelerar inte starkt till något och ammonium bara till total-N. En observation är att 8 av gårdarna är provtagna två gånger, men med ca ett år mellanrum. På dessa gårdar skiljer Ts mellan 0,5 och 5 %-enheter mellan tillfällena. Medelvärdena har stor överensstämmelse med vad Jordbruksverket redovisar som riktvärden (Börling, K. 2018), men spridningen är som sagt mycket stor.

Tabell 1. Korrelationskoefficienter (r) mellan kvalitetsparametrarnas referensanalyser i de 55 gårdsproven. Korrelationer som motsvarar $R^2 > 0,5$ i fetstil.

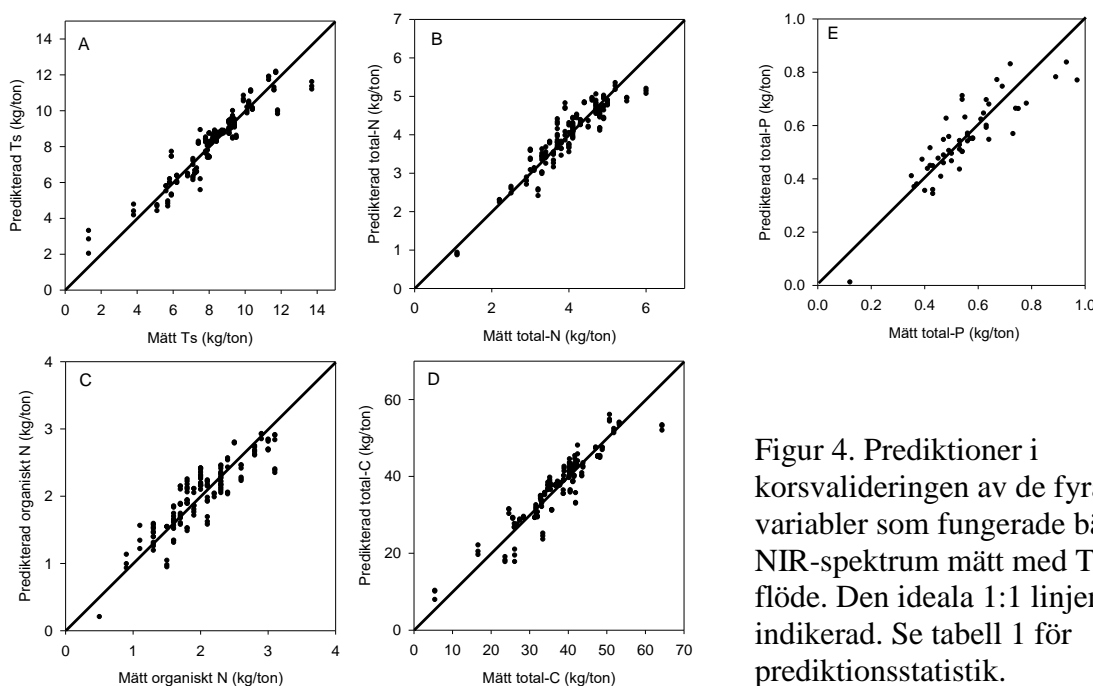
	TS	Tot-N	Org-N	NH4	Tot-C	C/N	Tot-P	Tot-K	LOI
TS	1								
Tot-N	0,82	1							
Org-N	0,89	0,93	1						
NH4	0,51	0,86	0,62	1					
Tot-C	0,99	0,82	0,90	0,51	1				
C/N	0,59	0,08	0,25	-0,19	0,60	1			
Tot-P	0,72	0,78	0,78	0,61	0,74	0,20	1		
K	0,59	0,56	0,54	0,48	0,56	0,19	0,44	1	
LOI	0,34	0,24	0,19	0,20	0,38	0,48	0,29	-0,29	1

NIR-mätningar i testrigg respektive labb

Ts tillsammans med total-N, organiskt N och total-C som alla korrelerar starkt till Ts går mycket bra att prediktera (tabell 2 och figur 4). Total-P och i viss mån ammonium-N intar en Tabell 2. Resultat från korsvalidering av kalibreringar på labb respektive i flöde. R² är korrelationen mellan mätt och predikterat och RMSE (Residual Mean Squared Error) är den genomsnittliga absoluta skillnaden mellan mätt och predikterat. Den bästa av de tre varianterna i fetstil.

	ASDI 450-2500 nm		ASDI 945-1700 nm		Tec5 945-1700 nm	
	R ² val	RMSE val	R ² val	RMSE val	R ² val	RMSE val
Ts (%)	0,86	0,773	0,86	0,781	0,88	0,710
Tot N (kg/ton)	0,88	0,298	0,84	0,341	0,86	0,322
Org N (kg/ton)	0,84	0,221	0,79	0,254	0,79	0,257
NH ₄ -N (kg/ton)	0,50	0,278	0,47	0,286	0,53	0,270
Tot C (kg/ton)	0,83	3,91	0,83	3,97	0,87	3,47
C/N	0,36	1,29	0,39	1,09	0,28	1,17
Tot P (kg/ton)	0,75	0,076	0,47	0,121	0,46	0,121
Tot K (kg/ton)	0,36	0,792	0,38	0,776	0,46	0,723
LOI (% av Ts)	0,31	2,61	0,39	2,46	-	-

mellanställning medan resterande går dåligt. Generellt är det ingen stor skillnad mellan de olika analysförfarandena. Undantaget är total-P som blir markant bättre predikterat med hela det synliga och nära infraröda våglängdsområdet (450-2500 nm). Det var liten skillnad mellan olika förbehandlingar av spektrum, men oftast var derivatan bäst och det är den som redovisas i tabell 2 och figur 4.



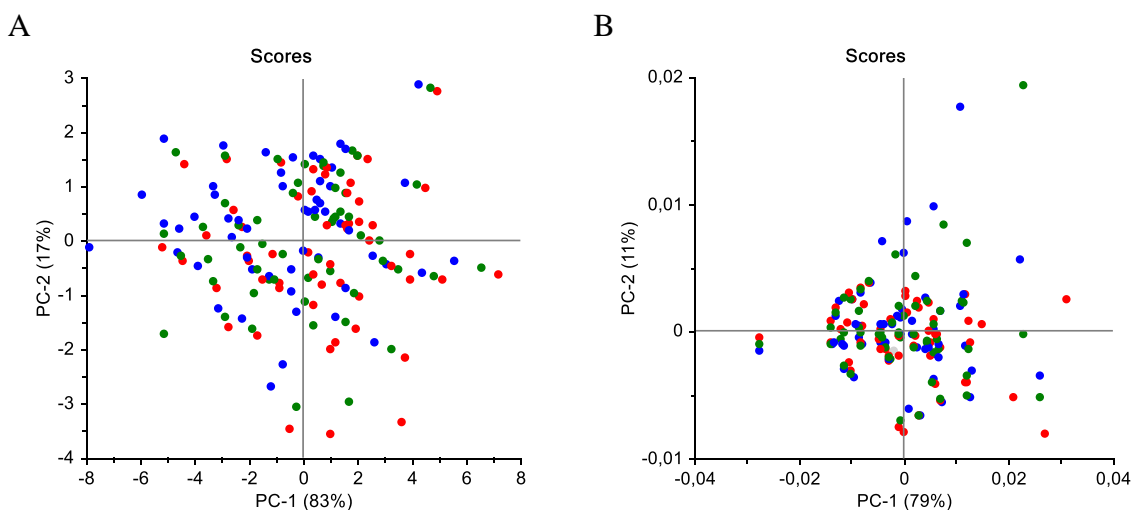
Figur 4. Prediktioner i korsvalideringen av de fyra variabler som fungerade bäst från NIR-spektrum mätt med Tec5 i flöde. Den ideala 1:1 linjen är indikerad. Se tabell 1 för prediktionsstatistik.

Inverkan av flödes hastighet på spektrum och prediktionsförmågan studerades dels genom att jämföra spektrum, dels genom att jämföra hur kalibreringar med spektrum från ett flöde kunde prediktera samma prov men med spektrum från ett annat flöde. I figur 5 visas s.k. PCA-plottar som sammanfattar den övergripande strukturen i spektrum med två latenta variabler – principalkomponenter. Varje prick representerar ett prov vid en flödes hastighet.

Flödes hastigheterna skiljs åt av färg. Prover nära varandra har liknande spektrum. I absorbtionsspektrumen i figur 5A uppvisar flödes hastigheterna en tydlig gradient inom respektive trio. Vissa gödsel, särskilt det längst ner, är mer påverkade av flödes hastigheten än andra. De tre mest extrema är de tre som särskiljer sig i figur 3 med särskilt låg Ts. Den påverkan som flödes hastigheten orsakar kan till största delen härledas till en baslinjeförskjutning. Därför försvinner det mesta av effekten när spektrumen deriveras (figur 5B). De blötaste är dock fortfarande tydligt påverkade. Plottarna i figur 5 säger dock lite om skillnadernas betydelse. Därför gjordes kalibreringar mot Ts med spektrum från enbart medelflödet och sedan predikterades spektrum från högt och lågt flöde. Det visade sig då att prediktioner med deriverade spektrum fungerade precis lika bra som i korsvalideringen, medan prediktioner med absorbtionsspektrum blev något sämre med spektrum från lågt varvtal.

Fältsmätningar

Skillnaderna mellan lass enligt referensanalyserna var relativt små (figur 3). Variationskoefficienten (standardavvikelsen i förhållande till medelvärdet) var typiskt 2-5 % och lite högre i Uddetorp än i Bium (figur 3). Lägst var variationen i glödförlust (0,5 respektive 0,4%) och högst i ammoniumkväve (7,9 respektive 3,4%). Mätningar inom lass gjordes med NIR och baserades på torrsubstansen predikterad med Tec5-modellen i tabell 2 och figur 4A. Drygt en mätning per sekund gjordes, men för att filtrera bort brus och framhäva systematiska variationer viktades de enskilda värdena i figuren med ett gaussiskt filter över 7 intilliggande punkter på vardera sida. Vissa fluktuationer över tid fanns, men i Uddetorp var dom relativt små. I Bium kunde variationerna sträcka sig över ett par procentenheter Ts och mot slutet i fyra av lassens uppmättes kraftiga spikar. Dessa tror vi beror på att gödseln i tunnan tog slut och skall betraktas som en artefakt.



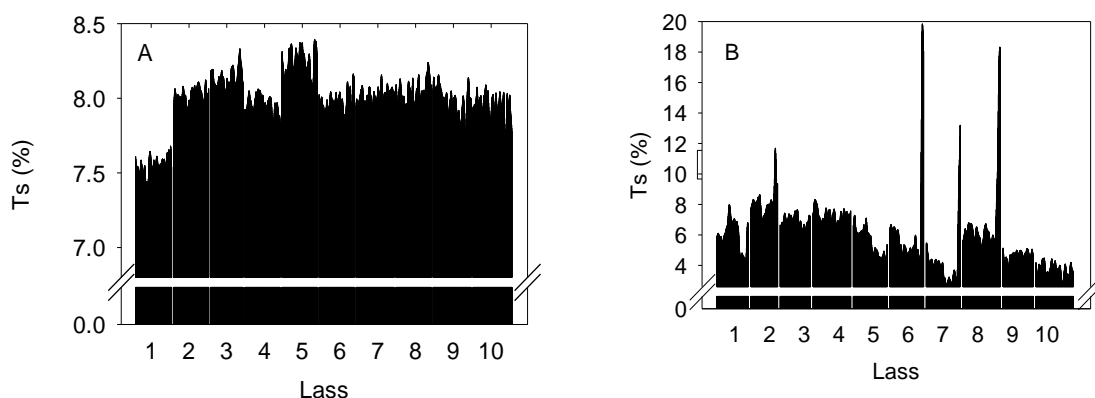
Figur 5. Principalkomponentanalys av A) absorbtionsspektrum och B) deriverade spektrum. Högt, medelhögt och lågt varvtal och därmed flödes hastigheter är markerade med blå, grön och röd färg.

Standardavvikelsen enligt referensanalyserna mellan lass var på båda gårdarna i storleksordningen 3-4 kg totalkväve och 0,5-1 kg totalfosfor vid en spridning av 40 ton och skillnaden mellan högsta och lägsta var 10-15 och 1-3 kg för kväve respektive fosfor. Inom lass motsvarar variationen i Ts i figur 6 (spikarna i figur 6B borträknade) en standardavvikelse i spritt kväve (40 ton gödsel) på 0,8-3 kg i Uddetorp och 1-10 kg i Bium. Motsvarande siffror för fosfor är 0,1-0,4 kg i Uddetorp och 0,1-1,6 i Bium.

Diskussion

Den kanske viktigaste observationen i detta projekt är att variationen mellan olika gårdar och gödselbrunnar är mycket stor. Variationskoefficienten i kvalitetsparametrarna i figur 3 är mellan 20 och 30 % och extremer kan avvika mycket kraftigt från medelvärdet (figur 3). Ts-halten är en viktig parameter som också i stor utsträckning reglerar innehållet av övriga näringsämnen i gödseln, särskilt kväve och fosfor, men inte ammoniumkväve i samma utsträckning. Utfodring och spädning med tvätt- och diskvatten kan antas vara viktiga orsaker till variationen. I bilaga 1 finns resultat för de 55 proven presenterade här i tabellform samt även för ett data set där dessa kombinerats med ytterligare 32 gödsel provtagna på motsvarande sätt. Dessutom finns sammanställningar för 27 svingödsel och 24 biogödsel.

Flera viktiga parametrar som Ts, totalkväve och organiskt kväve gick mycket bra att prediktera med NIR-spektrum. Även totalfosfor fungerar relativt väl men inte med det begränsade våglängdsområdet som det använda fältinstrumentet mäter i. Samma typ av instrument finns med ett mer heltäckande omfång, men blir då dyrare. Vid en närmare analys kunde vi konstatera att framför allt våglängdsband runt 800 nm har stor betydelse, men också området mellan 1700 och 1900 nm. Ammonium fungerar däremot mindre bra, vilket är att betrakta som ett bakslag eftersom ammoniumhalten anses relatera väl till gödselvärdet. Även C/N-kvoten har visats relatera väl, och till och med ännu bättre än andelen ammonium, till gödselvärdet mätt som mineralkvävekvivalenter i organiska gödsel (Sørensen m.fl. 2003), men inte heller C/N-kvoten går att prediktera med någon säkerhet. Detta trots att både totalkol och totalkväve går mycket bra att prediktera. Orsaken är att de fel som finns i både referensanalysen och prediktionen av kol och kväve multipliceras och adderas. I en tidigare studie med 15 mycket olika organiska gödsel (Delin, m.fl. 2012) gick däremot mineralkvävekvivalenter relativt bra att prediktera med NIR. Mekanismen bakom detta antogs vara att NIR-spektrum registrerade relevanta komponenter i gödseln som tillsammans relaterade till gödseffekten. Gödseffekten är dock inte mätt i denna studie.



Figur 6. Variation inom lass i TS enligt NIR-prediktioner. A) Uddetorp och B) Bium. Data filtrerat genom flytande medeltal över 15 intilliggande mätpunkter viktat med ett Gaussiskt filter. Notera de brutna Y-axlarna.

Vilka parametrar som går bra, respektive mindre bra att prediktera stämmer mycket väl överens med de resultat som Sørensen et al. (2007) och Mouazen & Ramon (2005) presenterat

från sina laboratoriemätningar. Sörensen et al. (2007) producerade däremot generellt mer träffsäkra prediktioner. Detta kan förmodligen delvis förklaras med att de homogeniserat proven innan analys samt att fem gånger så många prov ingick i kalibreringarna.

Flödes hastigheten hade viss påverkan på spektrumet, men den skillnaden bestod mest av en baslinjeförskjutning och hade ingen märkbar betydelse på prediktionsförmågan. Särskilt inte när deriverade spektrum användes. Deriveringen neutraliserar skillnader i baslinje eftersom den representerar lutningen i originalspektrumet. Generellt är det ändå att rekommendera att så många relevanta källor till variation som möjligt skall inkluderas i en kalibrering. Det bör till exempel även gälla temperatur. Temperaturvariationer har inte inkluderats i studien systematiskt, men eftersom mätningarna skett utomhus finns viss variation ändå med. Dessutom tenderade temperaturen att öka några grader i gödseln under det att den cirkulerades i testriggen.

På de två gårdar vi utförde mätningar i fält kunde vi notera variationer både inom och mellan tunnor. Variationerna var däremot oftast ganska begränsade, men skiljde en del mellan de två gårdarna och mellan tunnor. Den omblandning som gjordes i brunnarna innan spridningen startade tycks ha varit tillräcklig. Man skall emellertid komma ihåg att två gårdar är ett litet underlag och vi konstaterar att variationen var störst på gården med störst brunn. Dessutom indikerar det faktum att det är skillnad mellan gårdarna att det finns gårdar eller situationer där variationerna är ännu större. De tio tunnorna om fem m³ vardera utgör dessutom bara 10 respektive 5 % av brunnarnas totala volym. Våra resultat visar alltså inte entydigt att det är motiverat med kontinuerlig mätning av stallgödselkvalitet om brunnen är väl blandad. Samtidigt går det inte att utesluta att det finns situationer då variationen kan vara ganska stor.

En av frågeställningarna inför projektet var om en analys i flödet bäst skulle ske vid brunnen när tunnan fylls och därmed bara kunna registrera variationen mellan tunnor, eller om mätningen bäst görs vid spridningen. Oavsett hur stor variationen är och var den finns så är mätning, eller provtagning för den delen, kontinuerligt i den relativt smala passage i rören som är aktuella vid både fyllning och tömning utmärkt lämpliga för att ge mycket representativa resultat. Eftersom fyllningen dessutom oftast sker med tunnans egen utrustning är det lite som motiverar att inte låta utrustningen följa med spridaren och mäta vid tömningen. Vår erfarenhet av spridning i fält, även om den bara sträcker sig till två gånger tio tunnor är att den är robust nog för att klara miljön. Vi har dock haft en hel del problem. Framför allt har det första mät huvud vi använde krånglat mycket med ständiga glappkontakter och tillslut totalt haveri. Detta första huvud ersattes därför med en helt ny konstruktion som alla mätningar i studien är gjorda med. Andra problem har varit imma på linsen efter att mät huvudet har lämnats på spridaren över natten. Den utrustning vi använt, inklusive programvara och styrdatorenhet har varit av forsknings- eller försökskaraktär och därför inte särskilt användarvänlig eller integrerad i spridar- och traktormiljön. Programvaran har haft ett tydligt fokus på flexibilitet framför användarvänlighet. Detta måste utformas helt annorlunda för praktiskt bruk. Vi har använt en vanlig laptop för att styra systemet. Detta måste naturligtvis integreras i hytten på ett bättre sett. Gärna med en monitor som redan finns. Strömförsörjningen måste också anpassas till förutsättningarna i en traktor. En känslig del i systemet är den fiberoptiska kabeln som löper mellan mät huvudet och själva NIR-instrumentet. Lämpligast är antagligen att montera instrumentet på en skyddad plats på spridaren. Då kan den dessutom göras kortare vilket förbilligar systemet. På senare år har ett par kommersiella system dykt upp på marknaden även om det så vitt vi känner till ännu inte finns något i Sverige. John Deeres Harvestlab som tydligare använts i t.ex. vallskördemaskiner har anpassats för användning på stallgödselspridare. Även tyska Zunhammer lanserade nyligen ett liknande system, Van-Control 2.0. Lite är känt om hur väl dessa system fungerar, men våra resultat tyder på att

förutsättningarna är goda åtminstone för torrsubstans, totalkväve och fosfor. DLG testade Harvest Lab och dess kalibrering för gödselinnehåll på fem olika gödsel (DLG, 2017). Resultaten presenteras summariskt, men lite förvånande var precisionen tveksam för torrsubstans och ammonium, bra för kalium och mycket bra för totalkväve. Man skall komma ihåg att detta test utvärderade både själva tekniken och den medföljande kalibreringen.

Slutsatser

- Variationen mellan gödsel är mycket stor. Att förlita sig på riktvärden är en otillfredsställande, eller rent av förkastlig, strategi.
- Torrsubstans, totalkväve, organiskt kväve och totalkol går mycket bra att bestämma med NIR. Totalfosfor går relativt bra.
- För samtliga parametrar utom fosfor fungerar Tec5-instrumentets snäva våglängdsområde lika bra som labbinstrumentets breda. Fosfor däremot kräver minst 700-2000 nm.
- Viktiga parametrar som ammoniumkväve och C/N-kvot går dåligt att bestämma.
- Variationen mellan och inom lass var relativt liten i våra två exempel, men kan naturligtvis vara större på andra platser. Mätning görs lämpligast vid spridning.
- Kontinuerlig mätning som NIR-tekniken ger möjlighet till ger ett mycket representativt resultat oaktat variation.
- Variationer i flödes hastighet, som kan förväntas vid praktisk spridning, tycks inte vara något stort problem, men att derivera spektrumet innan dataanalys är en fördel eftersom detta eliminerar det mesta av den effekt som ändå finns.
- Utrustningen fungerar för att mäta vid spridning i fält, men måste göras mer användarvänlig och integreras bättre i traktor- och spridarmiljön. Ett par kommersiella utrustningar finns nu på marknaden.

Referenser

- Barnes, R.J., Dhanoa, M.S., Lister, S.J., 1989. Standard Normal Variate Transformation and De-Trending of near-Infrared Diffuse Reflectance Spectra. *Appl. Spectrosc.* 43(5), 772-777.
- Börlling, K. (red). 2017. Rekommendationer för gödsling och kalkning 2018. Jordbruksinformation 4-2017. Jordbruksverket, Jönköping. 103pp.
- Delin, S., Stenberg, B., Nyberg, A. & Brohede, L. 2012. Potential methods for estimating nitrogen fertilizer value of organic residues. *Soil Use & Management.* 28, 283-291.
- DLG. 2017. John Deere GmbH & Co. Kg, HarvestLab (SW 51 – LKS 08/17) Inhaltsstoffe in Rindergülle. DLG-Prüfbericht 6814. 8pp.
- Martens, H. och Naes, T. 1989. *Multivariate Calibration.* John Wiley & Sons, Chichester, UK. 419pp.
- Martínez-Suller, L., m.fl. 2010. A note on the estimation of nutrient value of cattle slurry using easily determined physical and chemical parameters. *Irish Journal of Agricultural and Food Research.* 49, 93–97.
- Petersen, L. & Esbensen, K.H. 2005. Representative process sampling for reliable data analysis – a tutorial. *Journal of Chemometrics,* 19, 625-647.
- Petersen, L., Minkkinen, P. & Esbensen, K.H. 2005. Representative sampling for reliable data analysis: Theory of Sampling. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems,* 77, 261-277.

- Saeys, W., Mouazen, A. M. & Ramon, H. 2005. Potential for onsite and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Biosystems Engineering* 91 393-402.
- Sveriges officiella statistik. 2014. Jordbruksstatistisk sammanställning 2017. SJV och SCB. 311pp.
- Stenberg, B. & Gustafsson, K. 2013. On-line measurement of animal and bio slurry quality variations with near infrared spectroscopy. *Precision Agriculture '13*, 337-342.
- Sørensen, L. K., Sørensen, P. & Birkmose, T. S. 2007. Application of reflectance near infrared spectroscopy for animal slurry analyses. *Soil Science Society of America Journal* 71 1398-1405.
- Sørensen, P., Weisbjerg, M.R. & Lund, P. 2003. Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. *Journal of Agricultural Science*. 141, 79-91.

Erkännande

Tack riktas till Stiftelsen Lantbruksforskning som finansierat studien. Även personalen i fältpatrullerna på Rådde och Lanna tackas för ett engagerat och professionellt genomförande av de inte helt okomplicerade NIR-mätningarna.

Bilaga 1

Tabell 1. Beskrivande statistik över de 55 mjölkfogödsel som ingick i ovanstående studie.

	Min	Max	Medel	Standard avvikelse	CV (%)
TS (%)	1.30	13.7	8.25	2.07	25
Totalkväve (kg/ton)	1.11	6.00	4.02	0.86	21
Organiskt kväve (kg/ton)	0.50	3.10	2.00	0.55	28
Ammoniumkväve (kg/ton)	0.70	3.00	2.02	0.39	19
Totalkol (kg/ton)	5.40	64.3	37.0	9.44	26
C/N-kvot	4.80	15.2	9.18	1.59	17
Fosfor (kg/ton)	0.12	1.06	0.56	0.16	29
Kalium (kg/ton)	1.21	5.85	3.32	0.98	29
Magnesium (kg/ton)	0.18	1.23	0.60	0.20	33
Kalcium (kg/ton)	0.28	2.83	1.24	0.43	34
Natrium (kg/ton)	0.14	1.39	0.54	0.27	49
Svavel (kg/ton)	0.11	0.88	0.42	0.14	34
Glödförlust (% av ts)	70.5	89.3	82.9	3.12	4

Tabell 2. Beskrivande statistik över de 55 mjölkfogödsel som ingick i ovanstående studie plus ytterligare 32 gödsel från Västsvenska mjölkgårdar.

	Min	Max	Medel	Standard avvikelse	CV (%)
TS (%)	1.30	13.7	7.99	2.26	28
Totalkväve (kg/ton)	1.11	6.30	3.86	0.98	25
Ammoniumkväve (kg/ton)	0.65	3.60	1.99	0.44	22
Totalkol (kg/ton)	5.39	64.3	34.6	10.6	30
C/N-kvot	4.36	15.2	8.93	1.80	20
Fosfor (kg/ton)	0.12	1.06	0.57	0.18	32
Kalium (kg/ton)	1.21	5.85	3.20	0.93	28
Magnesium (kg/ton)	0.16	1.23	0.58	0.20	34
Natrium (kg/ton)	0.12	1.39	0.49	0.26	52
Svavel (kg/ton)	0.11	0.88	0.42	0.14	33

Tabell 3. Beskrivande statistik över 27 svingödsel huvudsakligen från Västsverige.

	Min	Max	Medel	Standard avvikelse	CV (%)
TS (%)	0.70	6.30	2.35	1.54	66
Totalkväve (kg/ton)	0.70	5.70	2.83	1.14	40
Ammoniumkväve (kg/ton)	0.60	4.00	2.19	0.83	38
Totalkol (kg/ton)	2.00	26.5	8.15	6.59	81
C/N-kvot	5.00	44.0	13.6	8.24	60
Fosfor (kg/ton)	0.07	1.30	0.45	0.30	67
Kalium (kg/ton)	0.33	3.40	1.95	0.86	44
Magnesium (kg/ton)	0.01	0.60	0.24	0.17	70
Natrium (kg/ton)	0.19	1.20	0.57	0.26	45

Tabell 4. Beskrivande statistik över 24 biogödsel huvudsakligen från små och stora anläggningar i Mellan- och Sydsverige.

	Min	Max	Medel	Standard avvikelse	CV (%)
TS (%)	1.20	6.40	3.38	1.55	46
Totalkväve (kg/ton)	1.50	5.50	3.53	0.87	25
Ammoniumkväve (kg/ton)	0.70	4.20	2.56	0.74	29
Totalkol (kg/ton)	3.50	25.0	12.1	6.41	53
C/N-kvot	1.25	7.81	3.49	1.85	53
Fosfor (kg/ton)	0.04	1.10	0.46	0.22	48
Kalium (kg/ton)	0.83	3.50	2.28	0.73	32
Magnesium (kg/ton)	0.01	0.67	0.26	0.21	79
Natrium (kg/ton)	0.07	5.20	0.81	1.00	124

Förteckning över rapporter utgivna i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter*:

- 41 Stenberg, B. & Gustafsson, K. 2018. On-lineanalys av flyt-gödselkvalité.
- 40 Wetterlind, J. & Söderström, M. 2016. Går det att bestämma vattenhalten i fält med NIR för korrigering av andra sensormätningar?
- 39 Engström, L. & Piikki, K. 2016. Skördeprognos med hjälp av YARA N-sensor.
- 38 Lundström, C. 2016. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2015.
- 37 Söderström, M. & Piikki, K. 2016. Digitala åkermarkskartan detaljerad kartering av textur i åkermarkens matjord.
- 36 Söderström, M., Stadig, H., Nissen, K. & Piikki, K. 2015. CropSAT: kväve-rekommendationer och grödstatuskartering inom fält genom en kombination av satellitdata och N-sensorer
- 35 Piikki, K., Söderström, M., Wetterlind, J. Stenberg, B. & Jarvis, N. 2015. Digital soil mapping for modelling of transport pathways for pesticides to surface water.
- 34 Gustavsson, K., Berge, T. W. & Hauge Madsen, K. 2015. Hållbart jordbruk genom precisionsodling - En förstudie från Öresund-Kattegat-Skagerrak-området.
- 33 Söderström, M & Stadig, H. 2015. Test av portable röntgenfluorescens (PXRF) för bestämning av jordart, näringsämnen och tungmetaller direkt i fält – en pilotstudie
- 32 Lundström, C (red). 2015. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2014.
- 31 Lundström, C (red). 2015. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2014.
- 30 Piikki, K., Wetterlind, J., Söderström, M. & Stenberg, B. 2013. Jordartskartering av matjord och alv direkt i fält.
- 29 Krijger, A-K. 2013. Kontrollerad trafik (CTF) – en förstudie
- 28 Ståhl, P., Söderström, M & Adolfsson, N. 2013. Gradering av roto gräs i ekologisk odling med hjälp av fotografering från obemannat flygplan (UAV).
- 27 Lundström, C (red). 2013. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2012.
- 26 Söderström, M. 2013. Digital markkartering av Skånes åkermark med fjärranalys.
- 25 Piikki, K., Söderström, M., Stenberg, M. & Roland, J. 2012. Variation i marken inom fältförsök.
- 24 Lundström, C (red). 2012. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2011.
- 23 Lundström, C (red). 2011. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2010.
- 22 Lundström, C (red). 2010. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2009.
- 21 Söderström, M. 2009. Interpolerade markkartor – några riktlinjer.
- 20 Söderström, M., Börjesson, T., Pettersson, C.G., Nissen, K. & Hagner, O. 2009. Prognoser för maltkornskvalitet med fjärranalys.
- 19 Börjesson, T. & Söderström, M. 2009. Bedömning av kvalitetsskillnader över tid i vallar avsedda för hösilage med Yara N-sensor.

- 18 Lundström, C (red). 2009. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2008.
- 17 Jacobsen, A. & Söderström, M. 2008. Regional analyse af samspillet mellem satellitdata og jordbundsvariation. Delrapport 2 i SLF-projektet (dnr SLF 297/02): "Kostnadseffektiv markkartering genom stratifierad datainsamling baserad på fjärranalys"
- 16 Jacobsen, A. & Söderström, M. 2008. Anvendelse af geostatistik og remote sensing data til kortlægning af jordens lerindhold.
- 15 Söderström, M. 2008. Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling.
- 14 Lundström, C. (red); 2008. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2007.
- 13 Börjesson, T., Lorén, N., Larsolle, A., Söderström, M., Nilsson, J. och Nissen, K. 2008. Bildanalys som redskap för platsspecifik ogräsbekämpning.
- 12 Söderström, M, 2008. PrecisionWizard 3 – hantera precisionsodlingsdata och gör egna styrfiler till Farm Site Mate och Yara N-Sensor.
- 11 Söderström, M., Gruvaeus, I. och Wijkmark, L., 2008. Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält.
- 10 Söderström, M., Wijkmark, L., Martinsson, J. och Nissen, K., 2008. Avstånd mellan körspår – en jämförelse mellan traditionell spårmarkör och autostyrning med GPS.
- 9 Delin, S.(red.), 2007. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2006
- 8 Engström, L., Börjesson, T och Lindén, B. 2007. Beståndstäthet tidigt på våren i höstvetete – samband med skörd, topografi, förrådskalium och biomassa (Yara N-sensor- och NIR-mätningar)
- 7 Söderström, M., och Nissen, K., 2006. Insamling av GIS-data och navigering med GPS.
- 6 Söderström, M., 2006. PrecisionWizard - Gör styrfiler till FarmSiteMate och Yara N-sensor.
- 5 Delin, S.(red.), 2006. Dokumentation från seminariet ”Precisionsodling - avstämning av verksamhet och vision hos olika aktörer”, Skara den 19 april 2006.
- 4 Delin, S.(red.), 2006. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige, POS, 2005.
- 3 Delin, S. 2005. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige (POS) 2003-2004.
- 2 Börjesson, T., Åstrand, B., Engström, L. och Lindén, B., 2005. Bildanalys för att beskriva beståndsstatus i höstraps och höstvetete och ogräsförekomst i vårsäd.
- 1 Nyberg, A., Börjesson, T. och Gustavsson, A-M., 2004. Bildanalys för bedömning av klöverandel i vallar – Utvärdering av TrefoilAnalysis.

Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter (ISSN:1651-2804)*:

1. Börjesson, T, Ivarsson, K., Engquist, A., Wikström, L. 2002. Kvalitetsprognoser för brödvete och malkorn med reflektansmätning i växande gröda.
2. Börjesson, T., Nyberg, A., Stenberg, M. och Wetterlind, J. 2002. Handburen Hydro sensor i vall -prediktering av torrsubstansavkastning och kvalitetsegenskaper.

3. Söderström, M. (red.). 2003. Precisionsodling Sverige 2002, Verksamhetsberättelse från arbetsgrupperna.
4. Jonsson, A. och Söderström, M. 2003. Precisionsodling - vad är det?
5. Nyberg, A., Lindén, B., Wetterlind, J. och Börjesson, T. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar med en handburensensor i vallförsök med nötflytgödsel på Tubbetorp i Västergötland, 2002.
6. Nyberg, A., Stenberg, M., Börjesson, T. och Stenberg, B. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar i växande vall med ett bärbart NIR-instrument – en pilotstudie.

Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling i Väst, Tekniska rapporter*:

1. Rapport från en studieresa till norra Tyskland.
2. Thylén, L. & Algerbo, P-A. Teknik för växtplatsanpassad odling.
3. Seminarium och utställning i Skara den 10 mars 1998.
4. Delin, S. 2000. Hantering av geografiska data inom ett jordbruksfält.
5. Lundström, C. Delin, S. och Nissen, K. 2000. Precisionsodling - teknik och möjligheter.

AGROVÄST-projektet *Precisionsodling Sverige* syftar till att utveckla och tillämpa användbara metoder inom precisionsodlingen till nytta för det praktiska jordbruket.

I projektet arbetas med precisionsodling i form av utvärdering och tolkning av samt teknik för markkartering, kalkning, gödsling, bestämning av mark- och grödegenskaper, växtskydd samt miljöeffekter av precisionsodling.

Projektet genomförs i samarbete mellan bl.a. Lantmännen AB, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Yara AB, hushållningssällskap, Greppa Näringen och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI).

Distribution:

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö
Box 234
532 23 Skara
Tel. 0511-670 00

Internet: <http://www.slu.se/mark>
<http://www.agrovast.se/precision>
<http://www.precisionskolan.se>

