

Sensorsystem för on-line bestämning av kalkbehov i fält

Bakgrund och syfte

Jordanalys är i dagens lantbruk ett viktigt hjälpmedel för att undersöka fysikaliska och kemiska parametrar. Kostnaderna för att genomföra en markkartering gör att lantbrukare maximalt tar ett jordprov per hektar. Att ta så få prover kan innebära felaktig information om jorden. Flera forskare har visat att kalk- och näringsämnesbehov signifikant kan variera inom fältet (Linsley & Bauer, 1929; Robert et al., 1996; Stafford, 1997; Dawson, 1996; Mulla et al., 1992).

McBratney & Pringle (1999) har visat att parametern pH kräver ca 10 prov per hektar för att variationen på ett bra sätt ska beskrivas. Andra parametrar kan kräva upp till 50 prov per ha för att beskriva variationen på ett riktigt sätt, se tabell 1.

Tabell 1. Största tillåtna provtagningsavstånd vid olika blockstorlekar förutsatt en noggrannhet på två standardavvikelser (McBratney & Pringle, 1999). Mv betyder medelvärde.

Parameter	Noggrannhet vid kriging	Rekommenderat provtagningsavstånd i meter vid:			
		10 x 10 m block	20 x 20 m block	50 x 50 m block	100 x 100 m block
PH	±0,25	30	38	62	100
Ler (dag/kg) ¹	±2,5	20	26	46	98
Sand (dag/kg) ¹	±2,5	20	26	46	98
Kol (dag/kg) ¹	±10% av mv	22	28	48	78
Kväve (mg/kg)	±10% av mv	20	27	45	74
Fosfor (mg/kg)	±10% av mv	<10	10	21	31
Kalium (mg/kg)	±10% av mv	18	24	42	68

¹dag/kg betyder decagram/kg vilket är detsamma som viktprocent

Det finns alltså ett stort behov av att utveckla automatiska jordprovtagningsystem för att minska kostnaderna vid jordprovtagning och/eller få en förbättrad kartkvalitet (Sudduth et al., 1997; Gilbertsson, 2000).

Då endast små ekonomiska medel finns inom lantbruksnäringen för att utveckla nya sensorer är det viktigt att följa utvecklingen av sensorer inom andra industriella näringar. Ett sensorområde som vuxit sig allt starkare är kemiska sensorer. Ion selective field effect transistor (ISFETs) är en dopad halvledare som direkt reagerar på vätejoner och kan därför tillämpas vid pH-mätningar. Den passar bra för on-line mätning eftersom

den har snabb responstid, är robust och har små dimensioner (Viscarra Rossel & McBratney, 1997). Flera forskare har använt sig av denna sensorteknik (Loreto, 2000; Hummel och Birrell, 1995; Birrell & Hummel, 2001; Birrell & Hummel, 2000; Price et al., 2000).

Kravet på en hög provtagningstäthet innebär att forskningen har börjat fokusera på utveckling av nya kostnadseffektiva analystekniker för markkartering. Målsättningen måste vara att kunna markkartera med en hög noggrannhet till samma kostnad per ytenhet som idag.

Syftet med projektet är att utveckla ett sensorsystem som intermittent bestämmer kalkbehovet och dess variation on-line inom fält. Projektet omfattar tre delar:

1. Anpassa analysmetoder från Australian Centre for Precision Agriculture (ACPA) vid University of Sydney, för svenska förhållanden.
2. Konstruera mekanisk provtagningsutrustning/system.
3. Genomföra fälttest (mekanisk funktion, fältkapacitet, mätnoggrannhet och repeterbarhet).

Sensorsystemet består av fem delar; provtagning, provberedning, extrahering, analysering, rengöring. Extraherings- och analysdelen testas i laborativ miljö för att fastställa extraktionslösning, responstider mätstabilitet och kalibreringsfunktioner. Detta blir avgörande för hur sensorsystemet mekaniskt ska utformas. Varje delenhets utprovas var för sig innan de sätts samman till ett fungerande provtagningssystem som testas i praktiska fältförsök.

Material och metod

Anpassning av Mehlichmodell

En lämplig metod för att mäta kalkbehov togs fram vid ACPA, Australien. Den modell som fungerade bäst var Mehlich pH-buffert (Mehlich, 1976). Modellen har i detta projekt validerats i laboratorium på ett antal svenska jordar. Jordarna kom från Skåne i söder till Västerbotten i norr. Jordarna hade ett stort spann på ler- och mullhalt.

Konstruktion av mekanisk provtagnings- och analysenhet

En mekanisk jordprovtagnings- och analysenhet utvecklades i projektet av JTI.

Principen för jordprovtagaren är följande:

- Jord skall tas upp från matjordlagret.
- Jorden skall sållas
- En bestämd volym jord skall blandas med kemikalier
- Analysering av jord
- Rengöring av mätkammare

Under projektets gång har några olika varianter på de olika delarna utvecklats och provats. Nedan redovisas den slutgiltiga varianten på provtagaren, se figur 1.



Figur 1. Figuren visar den slutgiltiga prototypen av jordprovtagningsmaskin.

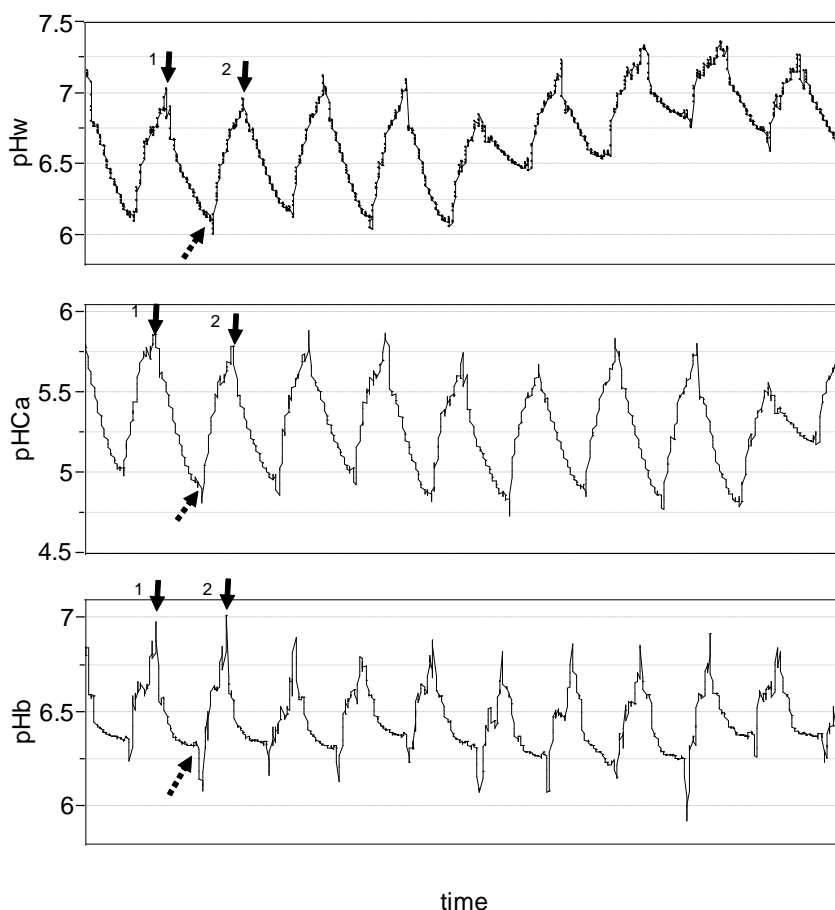
Jordprovtagningssystemet är byggt på en ram som passar till tre-punktsfästet på en traktor. En tandad tallrik från Yetter Farm Equipment användes för att ”fräsa” upp jord från matjordslagret. Arbetsdjupet är 0-20 cm. Framför tallriken finns dels två små tallrikar, dels två järn vars uppgift är att rensa jorden från växtmaterial. När traktorn framförs tillräckligt fort ($> 2\text{ m/s}$) så kastar tallriken upp jord. Jorden suggs upp av en hydrauldriven (ca 3000 rpm) fläkt till en cyklon. Alla jordpartiklar kommer att träffa fläktnavet och därefter kastas in som damm i cyklonen. Lufthastigheten är ca 30 m/s och luften kan teoretiskt transportera partiklar upp till 20 mm. I praktiken kommer detta endast att inträffa slumpmässigt eftersom den reella vindhastigheten är väsentligt lägre vid mynningen på inloppet. Efter cyklonen transporteras jorden genom ett roterande såll. Fläkthastigheten kan inte ställas för högt eftersom detta påverkar hur länge jordpartiklarna befinner sig i cyklonen. Från cyklonen faller jordprovet ned i ett mått där ca 2 cm^{-3} mäts upp och förs in i analysenheten. Jord transporteras till analysenheten med hjälp av en tryckluftscylinder. Jordprovet faller sedan ned i analysenheten. Samtidigt som jorden faller så pumpas en kemisk lösning (0,01 M CaCl_2 eller en buffertlösning (Mehlich) in med en peristaltisk pump. Analysenheten blandar sedan om provet. I centrum av kammaren är on-line ISFET-sensorn (SentrON-LINE) monterad för analys av rekationen och pH. Signalen loggas med en frekvens på 10 Hz. Systemet sköljs sedan med avjoniserat vatten.

Fälttest

Fälttester gjordes både i Sverige och i Australien. I Sverige utfördes fälttestet på ett 20 hektars fält på Ultuna Egendom, Uppland. Jordprovtagningsmaskinen kopplades till en traktor och framfördes med en hastighet på 2,5 m/s. Traktorn framfördes i rader med 24 meters mellanrum. Styrprogram och loggning av data gjordes med hjälp av ett program utvecklat i LabView. All data positionerades med en GPS.

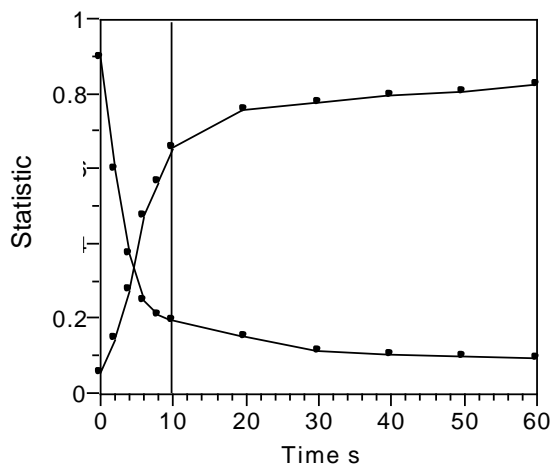
Resultat

Sensorn (pH ISFET) kalibrerades med hjälp av standard buffert lösningar pH 4 och pH7. Känsligheten beräknades från en linjär regression anpassad till de uppmätta pH värdena på buffertlösningarna. Ett exempel på data från bestämning av pH_w , pH_{Ca} och pH_b visas i figur 2.



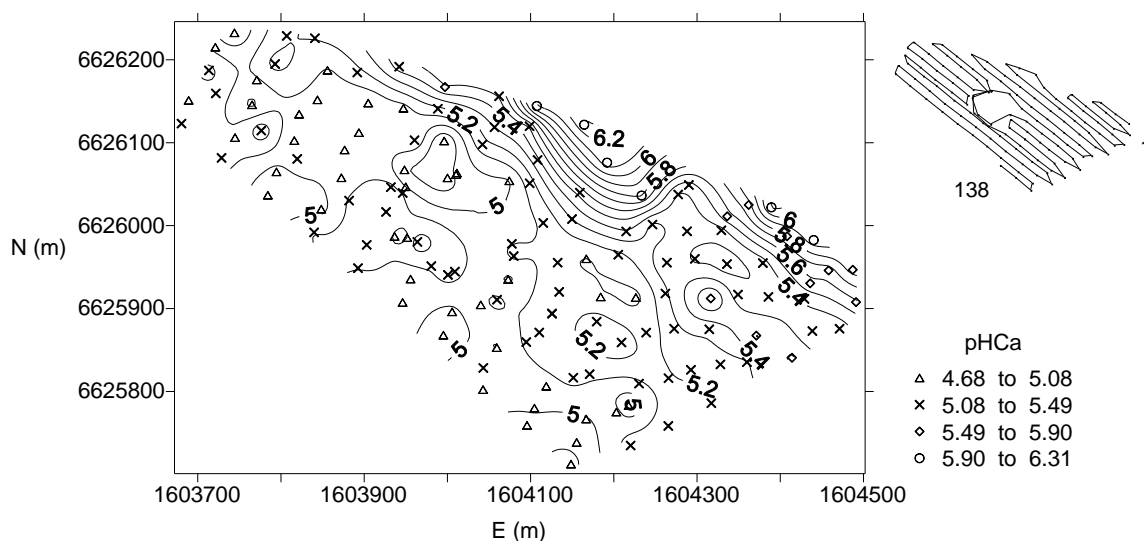
Figur 2. Diagrammen visar exempel på data insamlad i fält. Det översta diagrammet visar jord löst i vatten (pH_w), det mellersta jord löst i Calciumklorid (pH_{Ca}) samt det nedre jord löst i Mehlichbuffert (pH_b). Datan är insamlad med 10 Hz. Data mellan de två helt svarta pilarna visar en mätcykel dvs jordanalys och sköljning. Mätdata mellan den helt svarta pilen (1) till den streckade pilen visar mätdata från jordanalysen. Varje mätcykel representerar ett jordprov.

En mätcykel tar ca 10 sekunder att genomföra. Att bestämma det slutgiltiga pH-värdet eller kalkbehovet tar betydligt längre tid. För att systemet skall vara användbart i fält så krävdes att en modell utvecklades, där man enbart tittar på den initiala delen av kurvan för att prediktera slutvärdet. Figur 3 visar RMSE och R^2 värden för pH_{Ca} bestämning över en tidsperiod av 60 sekunder. Grafen visar att efter 10 sekunder så är RMSE 0,2 pH_{Ca} och R^2 0,66 i medeltal, vilket kan anses vara tillräckligt för att prediktera slutvärdet. Slutvärdet kan sedan användas för att beräkna kalkbehovet.



Figur 3. Figuren visar Root mean square error (RMSE) och R^2 värden för pH_{Ca} över en tidsperiod av 60 sekunder.

I fälttestet mättes pH_{Ca} med 10 Hz och med en mätcykel på 10 sekunder. Detta resulterade i ett mätvärde var 40:e meter vilket är detsamma som ca 10 prover per hektar. Figur 4 visar resultatet av fälttestet, med högre pH -värde i det nordöstra hörnet och lägre pH -värden i det nordvästra. pH -värdena varierade mellan 4,7 och 6,3. Medelvärdet var 5,2 och standardavvikelsen 0,3. Ockulärt stämde datan bra överens med den markkartering som tidigare gjorts av gården. Denna markkartering finns dock inte positionsbestämd, så det är svårt att göra en statistisk bedömning av noggrannheten. Däremot så har vi i liknande fältförsök från Australien, där vi själva tagit tät referensprovdata, visat att man kan nå en noggrannhet på 0,37 (pH_{Ca}) och en noggrannhet av kalkbehovet på 0,6 ton kalk per hektar.



Figur 4. Figuren visar punkterna där maskinen tagit prover. Symbolerna visar den klassade pH -datan och konturerna visar pH -värdet interpolerad med Krigingmetoden.

Diskussion

Resultaten från projektet indikerar att det går att mäta pH och kalkbehov on-line på fält med tillfredställande resultat. Maskinen kan dock förbättras. Främst så bör man arbeta med att uppnå en bättre stabilitet i prediktionsmodellen. T.ex så kan man tänka sig att utveckla modeller för olika jordarter. Vidare bör man arbeta för att snabba upp systemet så maskinen kan ta upp till 50 jordprover per hektar. Detta kan lösas genom att placera fler analysenheter parallellt med varandra.

Referenser

- Birrell S.J. and Hummel J.W. 2000. Membrane selection and ISFET configuration evaluation for soil nitrate sensing. *Transactions of the ASAE* 43(2) 197-206.
- Birrell S.J. and Hummel J.W. 2001. Real-time multi ISFET/FIA soil analysis system with automatic sample extraction. *Computer and Electronics in Agriculture*, **32** (2001) pp 45-67.
- Dawson C.J. 1996. Implications of precision farming for fertilizer application policies. *Proceedings No. 391, The Fertilizer Society*, 44pp.
- Gilbertsson, M. 2000. Sensorer för att mäta markparametrars variation inom fält – En jämförelse mellan en konduktivitetssensor och en dragkraftssensor. JTI-rapport, rapportserie Lantbruk & Industri, nr 276.
- Hummel J.W. & Birrell S.J., 1995. Real-time soil nitrate sensing. G.Rehm (ed) In 25th North Central Extension-Industry Soil Fertility Conf. Proc., pp. 125-136. St. Louis, MO. 15-16 Nov. 1995. Potash & Phosphate Institute, Manhattan, KS.
- Linsley, C.M. and Bauer, F.C. 1929. Test Your Soil for Acidity, Circular 345, University of Illinois, College of Agriculture and Agricultural Experiment Station.
- Loreto, A.B., 2000. Development of an automated system for measuring and mapping soil pH and nitrate nitrogen. www.ecn.purdue.edu. Hämtat 001212.
- McBratney, A.B., & Pringle, M.J., 1999. Estimating Average and Proportional Variograms of Soil Properties and Their Potential Use in Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 1, 125-152.
- Mehlich, A. 1976. New buffer pH method for rapid estimation of exchangeable acidity and lime requirement of soils. *Communications in soil science and plant analysis* 7(7) 637-652.
- Mulla D.J., Bhatti A.U. Hammond M.W. and Benson J.A. 1992. A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **38**, pp 301-311.
- Price R.R., Hummel J.W., Birrell S.J. and Ahmad I.S. 2000. Real-time nitrate extraction from soil cores. An ASAE Meeting presentation. Paper No. 001047. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, Mi 49085-9659 USA.
- Robert, P.C. (ed), Rust, R.H. (ed) och Larson, W.E. (ed), 1996. Precision Agriculture – Proceedings of the 3rd International Conference, Minneapolis, Minnesota, USA. 1222pp.
- Stafford, J.V. (ed), 1997. Precision Agriculture '97. Proceedings from the first European Conference on Precision Agriculture, Warwick, UK. Vol I-II, 997pp.
- Sudduth, K.A., Hummel, J.W., & Birrell, S.J., 1997. Sensors for Site-Specific Management. The Site Specific Management for Agricultural Systems.

Viscarra Rossel, R.A. and McBratney, A.B. 1997. Preliminary experiments towards the evaluation of a suitable soil sensor for continuous, 'on-the-go' field pH measurements. In: Precision Agriculture '97, Proceedings of the 1st European Conference on Precision Agriculture, ed. J. V. Stafford, BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK. pp. 493-501.

JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik AB
Råvaruproduktion och kvalitet

Utfört av

Lars Thylén, Mikael Gilbertsson