



## Utvärdering av markfuktsensorer och prognosmodeller för styrning av bevattning i potatis

Evaluation of soil moisture sensors and prediction models for irrigation  
management in potato

**Joakim Ekelöf**  
**Johannes Albertsson**  
**Tora Råberg**

Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp

Ltj-fakulteten

Område Jordbruk – odlingssystem, teknik och produktkvalitet

# LANTBRUK TRÄDGÅRD JORDBRUK

Rapportserie

## Utvärdering av markfuktsensorer och prognosmodeller för styrning av bevattning i potatis

Evaluation of soil moisture sensors and prediction models for irrigation management in potato.

Joakim Ekelöf, Johannes Albertsson & Tora Råberg.

**SLU Alnarp**

**Område Jordbruk**

**– odlingssystem, teknik och produktkvalitet**

Aktiviteten är finansierad av Partnerskap Alnarp samt med EU-medel via Landsbygdsavdelningen på Länsstyrelsen i Skåne



## Förord

Teknikutvecklingen inom bevattningsstyrning har de senaste åren gått framåt och det finns numera sofistikerade system för mätning av markfukt. Tekniken används dock i mycket liten utsträckning i Sverige idag vilket till stor del beror på bristande kunskaper om hur instrumenten skall användas. Frågan kring resurshushållning av vatten blir dock allt viktigare och allt fler lantbrukare tvingas söka vattendomar samt hushålla med bevattningen. Styrsystemen som finns på marknaden har potential att effektivisera vattenutnyttjandet och det finns därför anledning att studera redskapen närmare. Ett samarbetsprojekt mellan SLU, Länsstyrelsen i Skåne, Partnerskap Alnarp och Hushållningssällskapet i Kristianstad startades därför för att utreda vilka sensorer som är bäst lämpade för praktisk odling. Projektet finansierades av Partnerskap Alnarp och Länsstyrelsen i Skåne.

Alnarp, december 2010

Joakim Ekelöf  
Projektledare  
Område Jordbruk  
SLU Alnarp

Erik Steen Jensen  
Områdeschef  
Område Jordbruk  
SLU Alnarp

## Innehållsförteckning

FÖRORD .....	1
SAMMANFATTNING .....	3
ABSTRACT .....	3
INLEDNING .....	4
MATERIAL OCH METOD .....	5
<i>Mätinstrument</i> .....	5
<i>Lista över redskap som utvärderas</i> .....	5
RESULTAT.....	8
<i>Fieldscout 300</i> .....	8
<i>Aquaflex-slangen</i> .....	8
<i>EasyAG-spjutet</i> .....	9
<i>Delta T-spjutet</i> .....	9
<i>Tensiometern</i> .....	10
<i>Watermarksensor</i> .....	11
<i>Bevattningsprognosen</i> .....	12
DISKUSSION .....	15
<i>Framtidsperspektiv</i> .....	15
<i>Lönsamheten för styrd bevattning</i> .....	16
SLUTSATSER.....	16
REFERENSER .....	17
APPENDIX 1.....	19

## **Sammanfattning**

Bevattning är ofta ett måste för att en god odlingsekonomi skall uppnås. Även om odlaren vet bevattningsbehovet och har möjlighet att tillgodose detta kan det vara svårt att bevattna optimalt, på grund av osäkerheten som finns i väderprognoser och försäljningspriser för potatisen. Det finns flera tekniska hjälpmedel för att underlätta beslutsfattandet, så som prognosmodeller och markfuktssensorer. I denna studie utvärderades sju olika modeller och sensorer. Best i test blev den danska bevattningsprognosmodellen samt Watermarksensorn som båda är prisvärda och användarvänliga. I grödor med högt värde så som matpotatis är ett styrsystem med stor sannolikhet lönsamt och har potential att spara vatten. I stärkelsepotatis är det dock inte ekonomiskt försvarbart att använda markfuktssensorer för styrning av bevattning på grund av lågt pris och låga kvalitetskrav på potatisen.

## **Abstract**

Irrigation is often necessary to obtain a good economy on the farm. It can be hard to optimize irrigation even when the farmer has sufficient knowledge about the irrigation need and has the capacity to meet the need, due to uncertainty in weather forecasts and variability in selling prices for the crop. There are several technical tools to facilitate the decision-making regarding irrigation, such as forecasting models and soil moisture sensors. The evaluation assessed seven different models and sensors. The Danish irrigation forecasting model and the Watermark sensor showed the best result and are recommended for decision making in irrigation of quality potato in order to increase profitability. It is not profitable to use the soil moisture sensors in starch potato for facilitating decision making in irrigation due to low price and low demands on quality of the tubers.

## **Inledning**

God tillgång på vatten är helt nödvändigt för att optimera skörd och kvalitet för många av våra lantbruksgrödor. När plantorna utsätts för torkstress fungerar inte deras kylsystem och fotosyntesen avtar. Bevattning är därför ofta ett måste för att en god odlingsekonomi skall erhållas.

Det finns som nämnts tidigare flera tekniska hjälpmedel för att underlätta beslutsfattandet vid bevattning, så som prognosmodeller och markfuktssensorer. Med hjälp av dessa redskap finns möjligheten att styra bevattningen mycket mer exakt än tidigare. Redskapen ger inte bättre väderprognoser men de kan hjälpa användaren att inte vattna för mycket eller för lite. Därmed kan skörd och kvalitet öka, samtidigt som risken för näringsläckage minskas. Genom att optimera tillförseln av vatten kan kvaliteten på produkten i viss mån säkerställas vilket generellt ger ett högre pris på avsalugrödan. Utrustningen medför dock en kostnad och frågan är om den betalar för sig. I det här projektet utvärderades sju olika redskap, som idag används i liten utsträckning i Sverige, men har potentialen att kunna underlätta beslutsfattandet i samband med bevattning. De faktorer som utvärderats är den ekonomiska nyttan med att använda redskapen, användarvänligheten, priset och exaktheten.

## Material och metod

### *Mätinstrument*

Nedan visas de redskap som ingått i studien och därefter följer en beskrivning av vad som skiljer dem åt. Dessa mätare representerar ett stickprov av alla de typer av mätare som finns på marknaden.

### *Lista över redskap som utvärderas*

Fieldscout (TDR baserat)

Aquaflex (TDT baserat)

EasyAg-spjut (FDR baserat)

Delta T-Spjut (FDR baserat)

Tensiometer-teknik (av märket Imetos och Addcon)

Watermarksensorn (gipsblock)

Dansk bevattningsprognosmodell

I stora drag kan redskapen delas in i tre grupper;

(A) Mäter det volymetriska vatteninnehållet

(B) Mäter undertrycket

(C) Modeller som beräknar till exempel vattenbehovet utifrån väderdata.

(A) Redskap som ger ett mått på det volymetriska vatteninnehållet i jorden, alltså förhållandet mellan vattenvolymen och den totala jordvolymen, kan delas in i tre grupper, TDR, TDT och FDR baserade mätinstrument.

TDR står för "Time Domain Reflectometry" och mäter den tid det tar för en elektromagnetisk puls att passera fram och tillbaka längs en eller flera i jorden installerade transmissionsledningar. Tekniken bygger på sambandet som finns mellan jordens dielektricitetsegenskaper och dess volymetriska vatteninnehåll. Tiden det tar för pulsen att passera fram och tillbaka avgör hur mycket vatten jorden innehåller.

TDT står för "Time Domain Transmissometry" och mäter tiden det tar att färdas från den ena änden av en transmissionsledning till den andra.

FDR står för "Frequency Domain Reflectometry". Det som skiljer FDR-tekniken från TDR är i stora drag att FDR sensorn skapar en frekvens (150 Mhz) med hjälp av en oscillator som

skickas ut i jorden. Den återvändande impulsen (frekvensen) tas emot och läses av en annan elektrod efter att ha passerat jorden som varierar beroende på markfuktnivån.

Det finns flera typer av TDR-, TDT- och FDR-mätare varav fyra finns representerade i detta försök. Skillnaden mellan instrumenten är huvudsakligen utformningen (figur 1).



**Figur 1.** Visar de fyra olika mätinstrumenten som mäter det volymetriska vatteninnehållet. (1) är en Fieldscout 300 (TDR), (2) en Aquaflexslang (TDT), (3) ett EasyAG spjut (FDR) och (4) visar ett Delta-T-spjut (FDR).

(B) I försöket har två typer av undertrycksmätare testats; en tensiometer och en Watermark-sensor. Dessa visar ett värde på markens undertryck i kPa. Undertrycket är ett mått på hur svårt det är för växten att ta upp vattnet från jorden och kan ibland även uttryckas i enheterna cbar eller J/kg. Dessa enheter är dock lika stora, vilket ger att  $1 \text{ kPa} = 1 \text{ cbar} = 1 \text{ J/kg}$ . Ett lågt värde (10 kPa) innebär att jorden är fuktig medan ett högt värde (80 kPa) innebär att jorden är torr (Shock et al., 2006). Ofta anges negativa värden för att klargöra att det är ett undertryck det är frågan om.



**Figur 2.** Tensiometer

Tensiometrar användes för första gången år 1922 för att mäta markfukt (Gardner *et al.*, 1922). Sedan dess har instrumenten utvecklats, men principen är fortfarande densamma. Tensiometern består av ett keramiskt material som är sammanfogat till ett vakuumrör fyllt med vatten (figur 2). Röret och den keramiska kopian installeras i marken och efterhand som jorden torkar upp dras vattnet ut ur vakuumröret genom den keramiska kopian så att ett vakuum bildas i röret. Detta vakuum kan sedan mätas och man får ett mått på markens fuktighetsgrad. Den stora fördelen med tensiometern är att den reagerar snabbt på små förändringar i markfukten samt att den mäter ett faktiskt fysiskt undertryck, jämförbart med vad



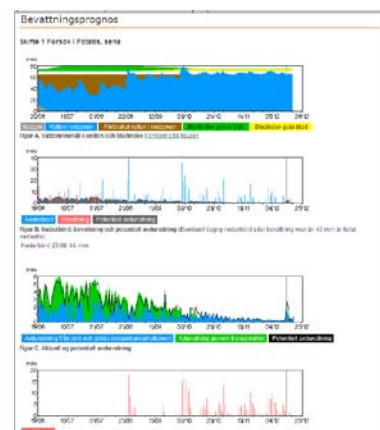
växten känner av. De nackdelar som ofta beskrivs med tensiometern är att den endast kan mäta ner till ett undertryck på 70-80 kPa, därefter kollapsar vakuumet i röret och man är tvungen att installera om den. Tensiometers funktion är väl beskriven i litteraturen och den kommer inte att beskrivas mer i detalj i denna rapport (Mckim *et al.*, 1980; Nilsson, 2005).

En Watermark-sensor (figur 3) kan sägas vara en vidareutveckling av de traditionella gipsblocken som har används under många år för att mäta markfukt. Dessa mäter motståndet mellan två ledningar som ligger inkapslade i ett gipsliknande material. Ju blötare jorden är desto mindre resistans blir det mellan ledningarna. Den stora skillnaden mellan Watermark-sensorn och de traditionella gipsblocken är, förutom konstruktionen, att de med hjälp av en matematisk beräkning ger ett värde motsvarande ett undertryck jämförbart med tensiometern.



Figur 3. Watermark-sensor

(C) Eftersom den danska bevattningsprognosen som Lantmännen tillhandahåller är den ända bevattningsmodellen i Sverige, har endast denna testats i försöket. Den beräknar bevattningsbehovet rent matematiskt utifrån jordens beskaffenhet, grödans utvecklingsstadium och väderdata.



Figur 4. Bevattningsprognos.

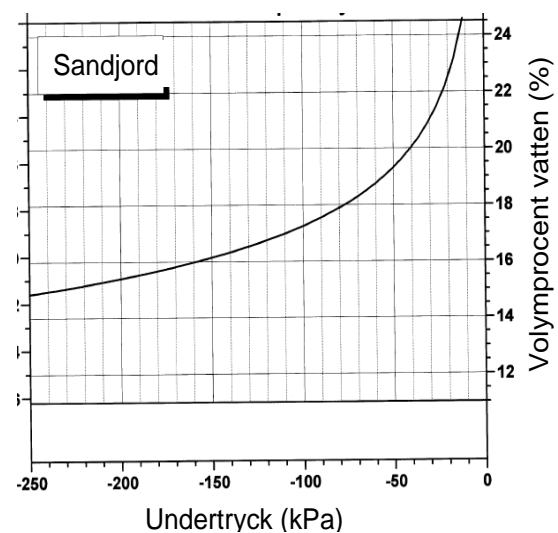
Bevattningsmodeller beräknar vattenbehovet genom att mäta hur mycket vatten som finns i marken (figur 4). Modellen utgår från att marken är mättad efter vinterns regnande och mäter ingående vatten (regn och bevattning) och utgående vatten (evapotranspiration och vatten som avgått via dräneringen). Modellen är internetbaserad och kopplad till SMHI:s vädertjänst. Regnmängderna läggs in automatiskt via SMHI men kan ändras av användaren som också registrerar bevattningsmängden. Evapotranspirationen beräknas utifrån väderdata och grödans utvecklingsstadium. Sättdatum måste därför registreras liksom jordart och rottdjup.

## Resultat

### *Fieldscout 300*

Fieldscout är en relativt billig TDR-mätare som kan vara ett praktiskt hjälpmedel vid bevattning. Den är mobil och kan användas på flera fält vilket underlättar användandet. Mätaren har i fungerat relativt bra i försöket och gett en ungefärlig bild av vattentillståndet i jorden, vilket också setts i andra försök (Murillo *et al.*, 2008). I ett kanadensiskt försök hade man dock stora problem med att mätaren då den ibland gav värden som var helt orealistiska, upp till 40 volymprocent högre jämfört med övriga testade mätare (Mehdi *et al.*, 2008). I försöket visade sig mätaren vara begränsad gällande mätdjup och exakthet, då den endast mäter ner till 20 cm. Den varierar också kraftigt beroende på jordstruktur, ledningstal och jordart. Mehdi *et al.* (2008) poängterar vikten av att hålla proborna parallella och att en och samma person utför mätningarna för att minimera felaktigheter.

Även om det medföljer information om riktvärden för olika jordarter kan det vara svårt att styra bevattningen efter denna typ av mätare, speciellt på lättare jordar. Det är på grund av att små variationer i volymprocent vatten ger stor skillnad i undertrycket (figur 5). Skulle man exempelvis försöka hålla markfukten mellan 40-70 kPa skulle det innebära att Fieldscoutmätaren skulle visa mellan 18-20 volymprocent vatten. Problemet är bara att mätaren kan variera fem volymprocent beroende på hur och vart man mäter. För odlare utan erfarenhet kring bevattning kan mätaren trots allt ge visst stöd i beslutsfattandet. Vid användandet av Fieldscout 300 bör man vara medveten om dess begränsningar och vara beredd på att göra många mätningar för att få en tydligare bild av markfuktsnivån. Den är dock utrustad med en mjukvara som gör det möjligt att se medelvärdet av flera mätningar vilket är positivt.



Figur 5. Visar hur många volymprocent vatten en sandjord kan hålla vid olika undertryck.

### *Aquaflex-slangen*

Aquaflex som är baserad på FDR-teknik, har fungerat väl i våra försök och urskilde markfuktsvariationer tydligt. Detta är även erfarenheterna i olika internationella försök (Plauborg *et al.*, 2005; Lieb *et al.*, 2003). De internationella försöken har även visat att inte

heller Aquaflex-slangen kan uppskatta vatteninnehållet i jorden med precision. Redskapet över- eller underskattande innehållet med mellan 100-300 liter per kubikmeter beroende på jordart (Plauborg *et al.*, 2005; Lieb *et al.*, 2003). Redskapet kan alltså urskilja skillnader i markfukt väl men har svårt att exakt säga hur mycket markfukt som jorden innehåller. En annan svaghet som Aquaflex-slangen har är att den är placerad på endast ett ställe på fältet. Den sträcker sig visserligen över tre meter, men ligger på ett konstant djup. Det är därför svårt att få en tydlig uppfattning om hur markfukten varierar på olika djup, något som i projektet har visat sig vara viktigt. Med tanke på att en väderstation också behövs för att överföra informationen blir kostnaden relativt hög i relation till den information utrustningen ger. Aquaflex-slangen kan därför inte rekommenderas till potatisodling.

### *EasyAG-spjutet*

EasyAG-spjutet har i flera studier visat sig fungera väl för att få indikationer om när och hur bevattning till olika grödor kan utföras på ett optimalt sätt (Cepuder & Nolz, 2007). EasyAG-spjutet baseras på FDR-teknik och kan mäta markfukten på fyra djup (10, 20, 30 och 50 cm). Mätaren kan kopplas till en väderstation så att informationen kan överföras automatiskt. I den här studien har mätinstrumentet inte fungerat tillfredsställande. Det har dels berott på att mjukvaran för databehandlingen inte varit helt uppdaterad och dels på att spjutet är relativt svårinstallerat, trots att en installationsmanual medföljer. Charlsworth (2005) pekar också på att installationen av mätröret är krångligt och menar att mätvärdena är helt beroende på att detta görs på rätt sätt. Installationen av mätaren bör ske på samma sätt som för tensiometern (Appendix 1), och mjukvaran från DACOM bör användas. För att den ska bli lättare att använda i fält måste användarvänligheten utvecklas vidare (Cepuder & Nolz, 2007). Mätaren är inte köpvärd i den utformning som den finns att tillgå i Sverige.

### *Delta T-spjutet*

Redskapet bygger på samma mätteknik som EasyAG men har en lite robustare konstruktion och är portabel. Man kan alltså använda det till alla sina fält. Innan spjutet kan användas behöver medföljande plaströr installeras i marken där markfukten skall mätas. Dessa sitter sedan permanent under säsongen. Handdatorn som spjutet avläses med är programmerat med en speciell mjukvara som gör det möjligt att beräkna hur många mm som fattas för optimal tillväxt.

Instrumentet är användarvänligt och ger stabila och logiska mätvärden. Nackdelen med mätaren är att den kräver manuell mätning och att den är dyr. Den är också begränsad på grund av att man, som tidigare nämnts, är tvungen att installera speciella plaströr i jorden innan

mätning kan ske. Installationen av rören sker på samma sätt som för EasyAg-spjutet. I internationella studier har Delta-T spjutet kritiserats för att mätvärdena är väldigt beroende på att access-rören installerats korrekt (Charlsworth, 2005). I andra studier har författarna ansett att mätaren inte ger tillräckligt korrekta värden för att bestämma tidpunkt och mängd för bevattningen (Evelt *et al.*, 2007). Då sensorn är känslig för hur man installerar den rekommenderas en speciell installationsutrustning.

Generellt för alla TDR-, TDT- och FDR-mätare är att det kan vara svårt att översätta mätvärdena till faktiskt bevattningsbehov eftersom de anger volymprocent vatten och inte undertryck. Tillverkarna tillhandahåller dock grova riktvärden för var man bör ligga men några exakta värden som gäller för den sorts potatis man odlar eller den jordart man har finns i dagsläget inte. Mätaren rekommenderas inte till lantbrukare men skulle kunna vara ett användbart instrument för rådgivare. Ett lämpligt användningsområde skulle kunna vara att installera mätrör på de fält som regelbundet följs ur växtskyddssynpunkt.

### *Tensiometern*

I försöket användes tensiometrar av två olika märken, Imetos och Adcons. Resultaten visar att sensorerna ger likvärdiga mätvärden och reagerar snabbt på förändringar i markfukt. Mätarna är dessvärre mycket känsliga för hur man installerar dem och stora skillnader (50 %) kan finnas på små avstånd (10 cm) i jorden. Det är därför viktigt att inte förlita sig på en mätare i fält utan gärna ha minst tre eller flera på samma djup. Stora skillnader finns gällande användarvänligheten mellan de två märkena. Adcons sensorer var betydligt enklare att hantera än Imetos som krävde mer underhåll och ofta tappade undertrycket. Problem uppstod även med att Imetos tensiometrar plösligt slutade att rapportera för att sedan sätta igång igen efter några dagar. Troligen kan problemet härledas till att fukt tränger in i kablarna eller kretskortet vid själva mät huvudet. Att tensiometrar behöver kontinuerligt underhåll under säsongen har också visats i ett stort antal internationella studier och tester (Mehdi *et al.*, 2008; Carpena *et al.*, 2005; Charlesworth, 2005). På grund av den höga arbetsinsatsen och att tensiometern ofta slutar att fungera kan den inte rekommenderas för praktisk odling, om inte särskilt intresse finns hos odlaren, detta trots att tensiometern var den mest exakta mätaren i försöket. Om lantbrukaren ändå väljer att använda mätmetoden rekommenderas Adcons variant av tensiometern, då den är mer driftssäker. Ett krav vid användandet av tensiometrar är att man har tillräcklig bevattningskapacitet så man klarar av att hålla markfukten under 70 kPa (gränsen för vad tensiometern klarar). På en sandjord under soliga förhållanden innebär det att

vatten måste tillföras ungefär var femte dag. Vidare kan installationen av tensiometrar vara ganska besvärlig, se den ingående installationsbeskrivningen i Appendix 1.

### *Watermarksensor*

Watermarksensorn är den mätare som har fungerat bäst i försöket. Den är relativt lätt att installera och har fungerat utan några störningar under försökets gång. En stor fördel med mätaren är att den klarar undertryck ner till 200 kPa och att den inte kollapsar på samma sätt som tensiometern. Man bör dock vara medveten om att den visar något lägre värden, omkring 10 % i detta försök, jämfört med tensiometrar som var placerade i samma fält. Att Watermarksensorer indikerar att det är fuktigare än vad det är har också visats i ett antal internationella studier (Huang *et al.*, 2004; Irmak & Haman, 2001). Sensorerna har under försökets gång inte heller reagerat lika snabbt på markfuktsvariationer som tensiometrarna, vilket också har visats i andra försök (Thompson *et al.*, 2006; Greenwood, 2009).

Watermarksensorn kan läsas av manuellt eller kopplas till en väderstation för automatisk avläsning. I försöket kopplades sensorerna till Imetos väderstationer som sände mätningar från sensorerna, fyra gånger per dygn, via GSM till en server på Internet (Fieldclimate, Pessl Instrument). Servern var kopplad till Internet vilket möjliggjorde att markfuktsinformationen kunde nås från vilken Internetuppkopplad dator som helst. Via datorn kan sedan mätningarna laddas ner till Excel och analyseras på en mängd olika sätt. Man kan också konfigurera väderstationen så att ett SMS skickas till en mobiltelefon när markfukten börjar närma sig en kritisk gräns. Med en tillsatsmodul (iMetos ICA-box) kan även bevattningen startas automatiskt via SMS, vilket är speciellt användbart om man har droppbevattningssystem. Under försökets andra och tredje år styrdes bevattningen nästan helt med hjälp av denna ICA-box vilket fungerade väl. Boxen är självförsörjande på ström och säljs av Waterboys för tre till fyra tusen kronor (2010).

Antalet sensorer som behövs för att få tillförlitliga mätningar beror bland annat på fältets kupering och hur jordtypen varierar inom fältet. Ett riktvärde är dock att varje bevattningszon (fält) behöver mellan 6-7 st Watermarksensorer (Shock *et al.*, 2005). Riktvärdet är från Oregon State University som under de senaste 20 åren mätt markfukten i deras försöksodlingar med bland annat Watermarksensorer. De rekommenderar även att sensorerna ligger på ungefär 20 cm djup mellan två friska potatisplantor (Shock *et al.*, 2006). Man kan dock med fördel placera någon sensor grundare och någon djupare än 20 cm för att se hur vattnet fördelar sig i profilen efter bevattningen. Ett litet problem är dock att installationen bör ske tidigt på säsongen, gärna

innan uppkomst så att rotsystemet kan växa runt mätarna, annars är risken överhängande att man skadar rötterna vid installationen och därför får mätvärden som inte är representativa. Det är också av stor vikt att sensorerna placeras på platser som representerar en så stor del av fältet som möjligt. Är variationerna inom fältet väldigt stora är det bättre att dela upp fältet i flera bevattningszoner (Shock *et al.*, 2005).

Watermarksensorerna används i praktisk odling utomlands (Shock *et al.*, 2006) och kan utifrån resultaten från detta försök rekommenderas för potatisodling i Sverige. Priset på själva mätarna är bara några hundralappar men det kostar fortfarande en hel del att få automatisk avläsning. Priset för den tjänsten kommer dock med stor sannolikhet sjunka på grund av ökad konkurrens i branschen.

### *Bevattningsprognosen*

Bevattningsprognoser har i de undersökningar som SLU Alnarp genomfört, fungerat väl och rekommenderas för odling av potatis i Sverige. Det var dock skillnader från år till år. Under 2007 och 2008 stämde prognosen bra överens med markfuktssensorerna. År 2009 hängde inte prognosen med riktigt vid bevattningarna tidigt på säsongen. I slutet av 2009 ville den dock att vi skulle vattna mer än marksensorerna visade. Man bör därför inte lita blint på modellen om man inte har någon markfuktssensor att verifiera värdena med. Modellen är relativt lättanvänd och ett bra stöd i beslutsfattandet kring bevattning. Den ger även en god översikt på markens vattenbudget. Dessutom är kostnaden låg i förhållande till övriga mätinstrument och redskap som finns tillgängliga på marknaden.

Dess svagheter ligger i att man måste ha tillgång till Internet och att man är beroende av att tjänsten fungerar. Vid ett tillfälle låg tjänsten nere vilket höll på att förstöra försöket år 2008. En annan nackdel är att modellen kräver en del engagemang under säsong då arbetstrycket för lantbrukarna redan är högt. Prognosen är även känslig för vilket rotdjup och jordart som registreras. Problemet är att man i många fall saknar exakta uppgifter om dessa faktorer. Mer korrekt information kring dessa parametrar skulle troligen förbättra prognosen betydligt. Hur väl prognosen avspeglar det faktiska bevattningsbehovet varierar från år till år och beroende på hur väl man matar in all grunddata. En markfuktsmätare, typ Watermark som verifierar statusen är därför önskvärd. Bevattningsprognosen rekommenderas trots sina svagheter, som ett prisvärt redskap för att bedöma när det är tid att vattna potatisen.

I tabell 2 nedan finns en sammanställning av utvärderingen. Till grund för utvärderingen ligger tre års fältförsök (2007-2009) där redskapen använts i praktisk potatisodling.

**Tabell 2.** Jämförelse mellan sju metoder för bestämning av bevattningstidpunkt

Metod Kategori	Fieldscout 300	Aquaflex	EasyAg-Spjut	Delta-T-spjutet	Tensiometer	Watermark	Bevattningsprognos
Användarvänlighet	Hög	Mellan	Låg	Mellan	Låg	Hög	Hög
Tidsåtgång/mätning	Manuell avläsning ~10 min beroende på avstånd till fältet	Data loggas, avläsning 5 min	Data loggas, avläsning 5 min	Manuell avläsning ~10 min beroende på avstånd till fältet	Data loggas, avläsning 5 min	Data loggas, avläsning 5 min	30 min/vecka under intensiva perioder
Nödvändig indata	Jordart	Placerade i fält, kräver installation och programvara. Jordart.	Jordart	Rotdjup, vattenhållande förmåga.	Placerade i fält, kräver installation och programvara	Placerade i fält, kräver installation.	Gröda, mognadsgrad, rotdjup, jordart, bevattning, (nederbörd)
Exakthet	Låg	Mellan	Mellan	Hög	Hög	Mellan	Beroende av indata
Pris	7000-9000 kr	Ca 7000 kr*	6000-8000 kr*	15 000-20 000 kr/st 300 kr/rör	6000 kr/3 st*	Ca 3000 kr/3 st*	990 kr för 10 fält
Mätmetodik	TDR (Direktmätning)	TDT (Direktmätning)	FDR (Direktmätning)	FDR (Direktmätning)	Undertryck (Direktmätning)	Resistans omvandlat till undertryck (Direktmätning)	Modell
Betyg (1-5)	3	2	2	3	3	4	4
Rekommendation	Rekommenderas till ovana bevattnare. Ger ett visst stöd men är dyr i förhållande till vad den ger.	Rekommenderas inte till potatis på grund av högt pris. Svårt att avgöra hur markprofilen torkar ut.	Rekommenderas inte till potatis på grund av högt pris och usel användarvänlighet.	Rekommenderas till rådgivare, dock arbetskrävande och onödigt dyr.	Rekommenderas till forskning men inte till praktiskt lantbruk. Arbetskrävande och svårinstallerad.	Rekommenderas för odling av grödor med högt avsalupris.	Rekommenderas för odling till alla som har bevattning. Prisvärd och relativt användarvänlig.

\* Kostnad tillkommer för ev. klimatstation, addit-stationer, solpaneler, batterier, etc. Totalt mellan 20-30.000 kr



## Diskussion

### *Framtidsperspektiv*

Att använda vattensensorer som ett beslutsstöd vid bevattning kommer troligtvis vara vanligt inom en ganska snar framtid. Dels på grund av att en högre skörd och kvalitet kan fås på grödan om bevattningen utförs korrekt och dels på grund av krav från samhället att vattenutnyttjandet skall minskas. Ökar användandet av sensorer sjunker också med all säkerhet priset per enhet vilket i sin tur kan stimulera användandet än mer. Det finns dock fortfarande en hel del som måste förbättras gällande användarvänligheten för att de skall slå igenom på bred front. De sensorer som finns på marknaden idag kräver en hel del tid, både att sätta sig in hur de fungera och hur resultaten skall tolkas, för att vara till någon hjälp. Har odlaren inte denna tid eller detta intresse bör man således inte införskaffa någon sensor. Risker är annars stor att sensorn endast ses som en kostnad och inte som ett redskap för att öka lönsamheten.

Ett framtida alternativ till att den enskilda odlaren köper in sensorerna är att rådgivningsorganisationer/företag har bevattningsövervakning som en tjänst. Fördelen med en sådan lösning är bland annat att rådgivarna som sköter om systemen bygger upp en stor kompetens om hur bevattnings- och sensorövervakningssystemen fungerar. Rådgivaren får då dessutom tillgång till ett stort antal sensorer som är utspridda på ett flertal fält i regionen, vilket borde innebära att råden till odlaren blir säkra och väl underbyggda.

I en undersökning gjord i Kanada där odlare fick prova ett antal olika vattensensorer under en säsong poängterade många av dem att sensorn måste kunna läsas av från kontoret (Mehdi *et al.*, 2008). Flera forskare menar också att fjärravläsning är en förutsättning för att i framtiden kunna styra bevattningen helt automatiskt (Greenwood *et al.*, 2009; Vellidis *et al.*, 2008). Greenwood *et al.* (2009) ser också ett framtidsscenario där odlare har en central där monitorer till sensorer och annan utrustning övervakas. Personalen eller odlaren tar sedan beslut om bland annat bevattning från platsen.

I försöket som den här rapporten presenterar har fjärravläsning använts med framgång. Beslut om bevattning har tagits helt baserat på data från vattensensorernas mätningar som automatiskt överförts via GSM-nätet till datorer på annan ort. Fördelen med att överföra mätningarna till en dator kontinuerligt är att det finns möjlighet att styra bevattningen på distans och i efterhand analysera om bevattningen sattes in i rätt tid. Utförs analysen under ett antal år så kommer man

att bygga upp en kunskapsbas om sina fält som kan vara till stor hjälp för nästkommande års beslut om bevattningstidpunkter.

### *Lönsamheten för styrd bevattning*

Lönsamheten för bevattning och bevattningsstyrning i potatis är som tidigare nämnts svår att avgöra. Flera faktorer varierar mellan gårdar och mellan år såsom; pris på produkten, kostnad för bevattning samt vilken skördeeffekt som bevattningen har. Om det finns utrymme i budgeten för markfuktssensorer och prognosmodeller eller inte kommer att bero på hur pass skicklig odlaren är på att bevattna utan dessa sensorer. Är det långt ifrån en optimal odling innan redskapen införskaffas så finns såklart mer att tjäna på ett styrsystem. En annan förutsättning för att skaffa ett styrsystem för bevattningen är ju också att vattentillgången är god och att kapaciteten är anpassad så att det finns möjlighet att vattna efter styrsystemet. Gällande stärkelsepotatis så rekommenderas inte något styrsystem för bevattningen eftersom priset på avsaluprodukten är för lågt och skördeökningen är för liten för att täcka kostnaderna. I matpotatis skulle dock ett styrsystem med stor sannolikhet höja lönsamheten förutsatt att det finns kapacitet att vattna efter styrsystemet. Av alla redskap som finns på marknaden är bevattningsprognosen den mest prisvärda och betalar sig fort om odlaren har stora arealer. Även Watermarksensorn skulle kunna vara ett lämpligt och lönsamt redskap vid styrning av bevattning i matpotatisodling.

### **Slutsatser**

- Det går att styra bevattningen i potatis med hjälp av markfuktssensorer utan att egentligen besöka fältet.
- Bevattningsprognosen och/eller Watermarksensorer rekommenderas för styrning av bevattning i matpotatis. Dock bör ett särskilt intresse finnas hos användaren då systemen kräver ett visst engagemang.

## Referenser

- Cepuder P. & Nolz R. (2007) Irrigation management by means of soil moisture sensor technologies. *Journal of Water and Land Development* 11: 79-90.
- Charlesworth P. (2005) Soil water monitoring. [online] Tillgänglig: <http://lwa.gov.au/files/products/national-program-sustainable-irrigation/pr050832/pr050832.pdf>
- Evetts S., Howell T., Tolks J. (2007) Comparison of soil water sensing methods for irrigation management and research In: Proceedings of the Central Plains Irrigation Conference, 2007. [online] Tillgänglig: <http://www.cprl.ars.usda.gov/wmru/pdfs/Evetts%20Central%20Plains%20Irrig%20Conf%202007.pdf>
- Gardner W., Israelsen O.W., Edlefsen N.E., Clyde D. (1922) The capillary potential function and its relation to irrigation practice. (Abstract) *Phys. Rev.* 20:196
- Greenwood D.J., Zhang K., Hilton H.W., Thompson A.J. (2009) Opportunities for improving irrigation efficiency with quantitative models, soil water sensors and wireless technology, *Journal of Agricultural Science* 2009: 1-16
- Huang Q., Akinremi O.O., Rajan R.S., Bullock P. (2004) Laboratory and field evaluation of five soil water sensors. *Canadian journal of soil science* 84: 431-438
- Irmak S., Haman D.Z. (2001) Performance of the watermark granular matrix sensors in sandy soils. *Applied Engineering in Agriculture* 17: 787-795
- McKim H. L., Walsh J.E., Arion D.N. (1980) Review over techniques for measuring soil moisture in situ. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire. *Special Report* 80-31.
- Mehdi B.B., Madramootoo C.A., Gollamudi A., Ali S., Verhallen A., Nichols I., Morrison W. (2008) A Comparison of Soil Moisture Monitoring Technologies for Irrigation Scheduling [online] Tillgänglig: <http://asae.frymulti.com/azdez.asp?JID=5&AID=24639&CID=prov2008&T=2>
- Múz-Carpena R., Dukes M.D. Li Y.C., Klassen W. (2005) Field comparison of tensiometer and granular matrix sensor automatic drip irrigation on tomato *HortTechnology* 15: 584-590
- Murillo J., Villafane R., Basso C. (2008) Evaluación de un equipo de reflectometría de dominio temporal (TDR) para registros de humedad en un suelo franco. *Rev. Fac. Agron.* 25: 211-222.
- Nilsson A. (2005). *Olika metoder och tekniska hjälpmedel för att bestämma bevattningstidpunkt*. Examensarbete inom lantmästarprogrammet 2005:51.
- Plauborg F., Iversen B. V., Laerke P.E. (2005). In situ comparison of three dielectric soil moisture sensors in drip irrigated sandy soils. *Vadose Zone Journal* 4: 1037-1047
- Shock C.C, Flock R., Feibert E., Shock C.A., Pereira A., Jensen L. (2005) Irrigation monitoring using soil water tension. Oregon State University. EM 8900. [online] Tillgänglig: <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/em/em8900.pdf>

Shock C.C, Flock R., Eldredge E., Pereira A., Jensen L. (2006) Successful potato irrigation scheduling. Oregon State University. EM 8911-E. [online] Tillgänglig: <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/em/em8911-e.pdf>

Thompson R.B., Gallardo M., Aguera T., Valdez L.C., .D. (2006) Evaluation of the Watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops. *Irrigation Science* 24: 185-202

Vellidis G., Tucker M., Perry C., Kvien C., Bednarz C. (2008) A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation, *Computers and Electronics in Agriculture* 61: 44-50

## Appendix 1

### *Tips vid installation av tensiometrar*

Många olika installationsknep har testats under försöksperioden för att få mätarna att fungera optimalt. För att få sensorerna att fungera så bra som möjligt är det viktigt att se till att vakuumburet är helt tätt. Om inte mätaren är ny kan det därför vara klokt att, när mätaren är torr, täta den med silikon, gärna något limbaserat, då "vanlig" silikon tenderar att släppa efter en tid i fält. Gällande Imetos tensiometrar är det inte ovanligt att keramikkoppen lossnar eller blir otät. Det mest effektiva sättet att täta är i detta fall med tvåkomponentslim. När mätarna är helt täta bör man fylla dem med vatten samt ställa dem i ett vattenbad i någon dag innan installationen så att keramikkoppen blir helt genomfuktad. Om detta görs behöver man inte installera om mätarna lika ofta. När keramikkoppen är genomfuktad bör mätaren tömmas på luft och sedan tätas. När det gäller Adcons sensorer är detta lätt, då man endast öppnar och stänger det övre locket. Men när det gäller Imetos tensiometrar är det mer komplicerat. För att få dessa att fungera riktigt bra behöver man efter det att man tömt dem på luft täta med silikon igen. Därefter bör mätarna stå kvar i vattnet medan silikonet härdar, och först därefter är mätarna klara för installation i jorden.

Som alltid när man arbetar med tensiometrar är det viktigt att vara noggrann vid installationen. Det som är viktigt att tänka på är att keramikkoppen får bra kontakt med jorden och att inga luftfickor bildas kring koppen. Viktigt är också att man ser till att vatten inte rinner längs med röret ner till keramikkoppen. Ett smidigt sätt att installera mätarna på är att med en jordborr eller dyl. göra ett hål i marken som är lite större diameter (0,5-1 cm) och lite djupare (2-4 cm) än tensiometern. Hålet skall man försöka göra utan att göra för stor åverkan på jordens struktur. Därefter håller man på ca 2 dl vatten och lite lös jord och rör om kraftigt ända ner i botten med en smal pinne så att en lervälling bildas. Sedan trycker man ner tensiometern i hålet så att lervällingen jäser upp längs sidorna på röret. Därefter kan man rucka försiktigt på röret för att försäkra sig om att keramikkoppen bottnar i hålet och att inga luftbubblor finns kvar. Man bör dock vara försiktigt med att röra för mycket på röret.