



Examensarbete inom Lantmästarprogrammet 2005:51

OLIKA METODER OCH TEKNISKA HJÄLPMEDEL FÖR ATT BESTÄMMA BEVATTNINGSTIDPUNKT

DIFFERENT METHODS AND TECHNICAL MEANS TO DECIDE WHEN TO IRRIGATE

Andreas Nilsson

**Handledare: Fredrik Hallefält
Examinator: Sven-Erik Svensson**

**Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik**

Alnarp 2005

FÖRORD

Ett krav jag hade med mitt examensarbete var att det skulle handla om något som var nytt i Sverige. Eftersom jag är intresserad av bevattning och framförallt av ny teknik ville jag göra ett arbete inom detta ämne.

Idén till studien fick jag tillsammans med Fredrik Hallefält och Sven-Erik Svensson som även har varit handledare respektive examinator till arbetet. Jag ville undersöka ämnet genom att sammanställa litteratur, erfarenheter och utifrån det försöka få mig en bild av vad styrd bevattning innebär och vilka möjligheter som finns.

Ett varmt tack riktas till Ola Rosenqvist, RMV, Kristianstad; Lars Thylèn, JTI, Uppsala; Harry Linnèr, SLU, Uppsala; Abraham Joel, SLU, Uppsala som alla bidraget med synpunkter och råd.

Alnarp 2005-05-15
Andreas Nilsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SID
1. SAMMANFATTNING	2
2. SUMMARY	3
3. INLEDNING	4
3.1. MÅL	4
3.2. SYFTE	4
3.3. AVGRÄNSNINGAR	4
4. VATTNET I VÄXTEN	5
5. VÄXTTILLGÄNGLIGT VATTEN	6
5.1. JORDENS EGENSKAPER	7
6. VARFÖR STYRD BEVATTNING?	9
6.1. RÄTT UTFÖRD BEVATTNING GER BÄTTRE TILLVÄXT OCH EKONOMI	11
6.2. HUR UTFÖRS STYRD BEVATTNING?	11
7. INSTALLATION AV SENSORER MED JORDKONTAKT	12
7.1. PLACERING	12
8. SENSORER MED JORDKONTAKT	13
8.1. SUGKRAFT	14
8.1.1. <i>Tensiometer</i>	14
8.1.2. <i>Motståndsblock</i>	15
8.2. VOLUMETRISKMÄTNING	16
8.2.1. <i>Time domain reflectometry (TDR)</i>	16
8.2.2. <i>Frequency domain reflectometry (FDR)</i>	17
8.3. NEOTRONMÄTNING	18
8.4. VÄRMESTEGRING	19
9. SENSOR UTAN JORDKONTAKT	20
10. BEVATTNINGSTIDPUNKT	22
10.1. HUR ANVÄNDS MÄTRESULTATEN?	22
11. FÄLTFÖRSÖK MED OLIKA SENSORER	24
12. DISKUSSION	27
11. REFERENSER	29

1. SAMMANFATTNING

Föreliggande examensarbete grundar sig till största delen på utländska studier av redovisad forskning, uppsatser och artiklar inom bevattningsområdet. Examensarbetets syfte har varit att ta reda på vilka hjälpmedel som finns för att bestämma bevattningstidpunkt, hur de fungerar samt om de är trovärdiga.

I Sverige används inte många tekniska hjälpmedel för att bestämma bevattningstidpunkt och giva. Svenska odlare tror sig ha erfarenhet nog för att bestämma bevattningstidpunkt endast genom att känna i jorden och titta på grödan. Runt om i världen används tekniska hjälpmedel i betydligt större utsträckning. En undersökning gjord på ca 50 000 hektar i Washington State visade att på 77 % av den bevattnade arealen används olika beslutssystem för att bestämma bevattningstidpunkt (Leib, 1999).

Ekonomi i svenskt lantbruk blir allt tuffare och kvalitén på produkten är en pridfaktor som väger allt tyngre. Detta gör det intressant att odla mer specialgrödor av hög kvalitet. Det är i dessa odlingar man har störst användning av tekniken för att bestämma bevattningstidpunkt. Odlingarna innefattar ofta grödor som är känsliga för vattenstress och sker dessutom övervägande på jordar med låg vattenhållande förmåga och där stora mängder kväve finns i omlopp. Fel utförd bevattning kan leda till en osäljbar skörd och utlakning av både växtnäring och sprutmedel.

Slutsatsen beträffande jordburna sensorers trovärdighet är att de vanligaste mätarna duger mycket väl för att bestämma bevattningstidpunkt och giva. Exaktheten på resultaten beror till stor del på hur väl den valda mättekniken passar jordarten. För att få bäst information från mätarna är det viktigt att instrumenten placeras på en representativ plats på fältet och i samma djup som grödans aktiva rotzon. Installationsmomentet av sensorer som bygger på jordkontakt är ytterst viktig, luftgropar och sten får ej förekomma närmst sensorn om man ska få trovärdiga resultat.

Bedömning av vattenunderskottet med hjälp av avduntningsmätare och beräkning av vattenbudget kräver ingen ”känslig” installation. Detta är en enkel och pålitlig metod, men som kräver regelbunden manuell avläsning. Metoden tar inte heller hänsyn till hur hårt vattnet är bundet i marken eller kapillär vattenförsörjning. Detta betyder att vattenbudgetmetoden bör kompletteras med en metod som mäter vatteninnehållet i marken för att kunna styra bevattningen på ett säkrare sätt. Annars är det svårt att veta var man befinner sig i vattenbudgeten, om man inte fått ett stort regn som ”nollställt” budgeten genom att markens fältkapacitet uppnåtts.

2. SUMMARY

This examination work on studies and research in articles is mostly from other countries. The purpose of the examination work have been to find out if there are any means you can work with to find out when its time to start irrigation, how they works and if they are credible. In Sweden there is not many means for decide when it's time to irrigate and how much water you should appear. Swedish farmers think they have so much experience that they don't need techniques like this. They decide time for irrigation just with look at the crop and feel in the soil.

The economy in Swedish farming is getting harder and harder. For good paying you must have a really good quality on the crop. It's easier to get a high quality on the crops if you now how much water it is in the soil. If you can measure the soil water you don't risk a water stress on the plants and leaks of nitrogen.

The results off soil moisture sensors accuracy is that the usual sensor is good enough to decide when it's time to start irrigation and the amount of water. The accuracy of the results depends on how well they suits the soil.

Soil contact is very important when you install your sensor. Air hole and stones can not be near the sensor if you should get credible results.

You can even decide irrigation with water budget, this don't need any sensitive installation. This is a simple and reliable method but you must reading it of regular and manual. You never take consideration to how hard the soil holding the water.

3. INLEDNING

Mer eller mindre invecklade sätt finns för att bedöma olika gröders bevattningsbehov under växtperioden. I detta examensarbete tar jag upp de vanligaste metoderna för att bestämma bevattningstidpunkt och bevattningsgiva till en gröda. Med rätt utförd bevattning får man inte bara en skördehöjning, växtnäringsbalansen blir bättre och ekonomin kan förbättras i många grödor. Det har varit känt sedan länge att växtnäring och vattenupptag i växten går hand i hand. Men om grödan skall få optimalt utbyte under hela kulturtiden måste det finnas rätt mängd vatten vid rätt tillfälle. Det är framförallt i potatis- och specialodlingar, som är resurskrävande och med hög kapitalinsats, som det ges stora möjligheter att med rätt utförd bevattning även styra kvalitén på produkten. Med rätt utförd bevattning i potatis minskar andelen kvalitetsskadade knölar, såsom missformade, skorviga knölar eller knölar skadade av växtsprickor avsevärt, om möjlighet att styra vattentillförseln finns (Linnér, 1984). Handeln ställer allt större krav på att kvalitén på produkterna skall vara hög och jämn. Rätt utförd bevattning i t.ex. sallat är en förutsättning för att man skall nå bra kvalitet och kunna sälja sin skörd. Specialodlingar sker ofta på lätta jordar med hög genomsläpplighet och en mycket liten vattenhållande förmåga. Detta i kombination med att stora mängder kväve finns i omlopp. Det krävs stor erfarenhet och kunskap hos odlaren om denne skall kunna bestämma optimal bevattningsgiva och tidpunkt, endast genom att känna i jorden och titta på grödan. Börjar plantan visa tecken på vattenbrist, har tillväxten redan varit nedsatt i flera dagar, dvs. bevattningen borde ha inletts tidigare. Grödans ekonomiska värde och känslighet för vattenbrist avgör var det kan vara intressant med styrd bevattning.

3.1. MÅL

Målet är ta reda på hur olika mätmetoder för bestämning av markfukten fungerar och hur väl de stämmer överens med den verkliga markfuktigheten. Vilka är deras för- och nackdelar?

3.2. SYFTE

Syftet med examensarbetet är att bl.a. genom litteraturstudier av olika bevattningsförsök få en inblick av vikten med styrning av bevattning. Samt att studera olika redovisade forskningsresultat, uppsatser och artiklar och utifrån det göra en jämförelse mellan olika metoder för att bestämma bevattningstidpunkt.

3.3. AVGRÄNSNINGAR

Avgränsningarna är att inte gå in på några enskilda produkter utan hålla mig till deras arbetssätt. De viktigaste sökmetodikerna jag använt är:

- JTI och Institutionen för markvetenskap i Uppsala
- Intervjuer av forskare och försäljare inom bevattning
- Litteraturstudier

4. VATTNET I VÄXTEN

För att växtens olika funktioner ska fungera är vatten helt nödvändigt.

Växten behöver vatten till olika funktioner såsom:

- cellsträckning, upprätthålla plantan
- till all näringstransport
- transport av fotosyntesprodukter

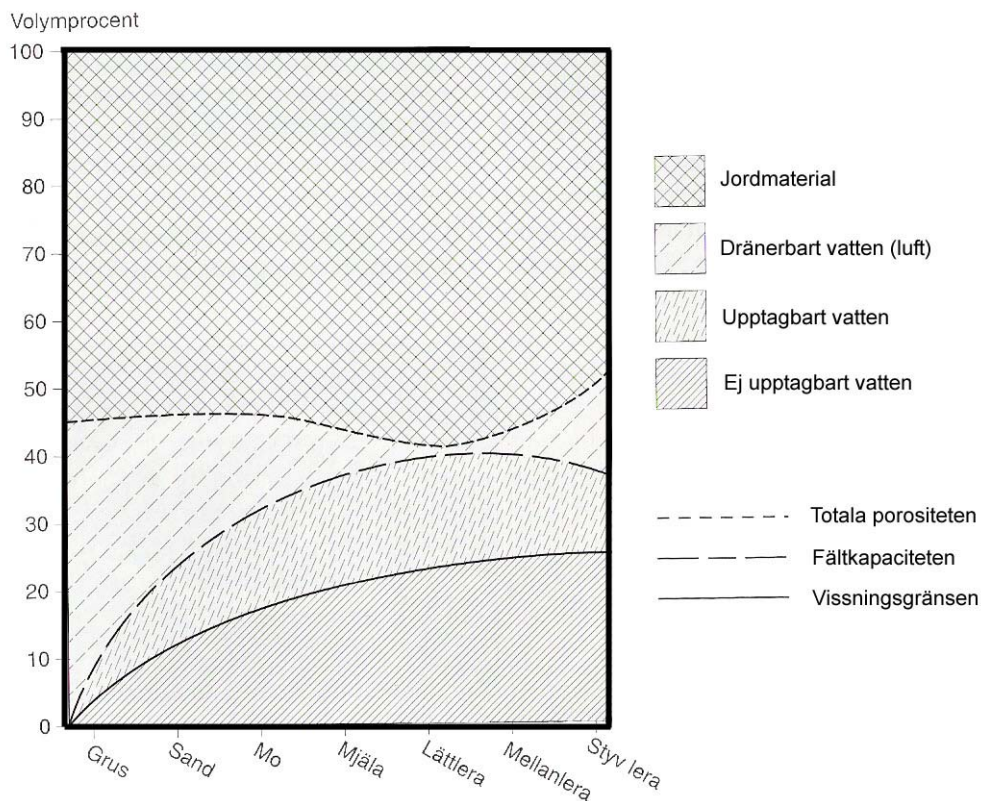
För att producera 1 ton torrs substans potatis går det åt ca 500 m³ vatten. Vattnet som växterna förbrukar passerar till största delen rakt igenom och endast ca 2 % av vattnet går åt till att bygga upp själva växten. Vattnet är till för att kyla växten och fungerar som lösnings- och transportmedel för bl.a. växtnäring. När växten lider av vattenbrist skickar rötterna signaler till bladens klyvöppningar. För att hushålla med vattnet får dessa stängas något och vi får en nedsatt fotosyntes och tillväxt genom minskat koldioxid-upptag redan vid en korts tid torka. Ett stort vattenflöde är alltså avgörande för en grödas produktion (Fogelfors, 2001).

Det som styr grödans vattenbehov är: transpiration, grödans fysiologi, utvecklingsstadium och grödans produktion av biomassa. De yttre klimatfaktorerna påverkar hur stor transpirationen i växten blir. En varm sommardag, med låg luftfuktighet och mycket vind ger ökad transpiration. Störst betydelse för växters vattenbehov har temperaturen. Den utgör 60 % av den totala transpirationen, följt av relativ luftfuktighet 35 % och vindhastighet 5% (Gissén, 2005).

5. VÄXTTILLGÄNGLIGT VATTEN

För att kunna använda sig av styrd bevattning fullt ut måste man känna till både var gränsen går för hur mycket vatten jorden kan leverera och hur mycket grödan behöver. Det växttillgängliga vattnet är mer eller mindre hårt bundet i marken. Det som styr hur hårt vattnet är bundet är attraktionen mellan vattenmolekylerna och det fasta materialet. Attraktionen mellan vatten och materialet ökar ju mindre poren i marken är, och desto hårdare binds vattnet. Detta illustreras i figur 1. Styv lera med hög andel små porer visar att 20 volymprocent utgörs av ej upptagbart vatten. Sandjord som är av enkelkornstruktur har ca hälften så mycket ej upptagbart vatten jämfört med styv lera (Fogelfors, 2001).

Figur 1 ger en beskrivning på hur förhållandet dränerbart vatten (luft), upptagbart vatten och icke upptagbart vatten varierar i olika jordarter.



Figur 1. Jordarten påverkar vattenförhållandena i marken (Fogelfors, 2001).

Total porositet beskriver markens andel av porer. Alltså jordens förmåga att kunna ta emot vatten utan att avrinning sker. Marken når sin maximala vattenkapacitet när porerna är helt fyllda med vatten.

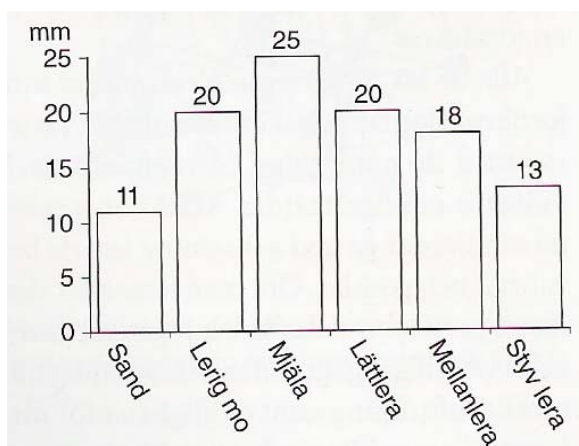
Fältkapacitet uppnås efter att det ”fria” vattnet runnit från jordens maximala vattenkapacitet. Efter att ett stort regn upphört, gör tyngdkraften att vattnet töms från de största porerna. De minsta kapillära porerna är vattenfyllda p.g.a. av deras starkare bindningsstyrka och det är ifrån detta förråd växterna hämtar sitt vatten.

Vissningsgränsen visar gränsen mellan upptagbart och ej upptagbart vatten i marken. När denna gräns är passerad kan växten ej få tag på vatten och den vissnar utan att kunna hämta sig även om vatten senare tillförs.

Den mängd vatten som växten kan tillgodose motsvarar skillnaden mellan fältkapacitet och vissningsgräns. De tre egenskaperna ”porositet”, ”fältkapacitet” och ”vissningsgräns” skiljer odlingsegenskaperna åt från jord till jord (Fogelfors, 2001).

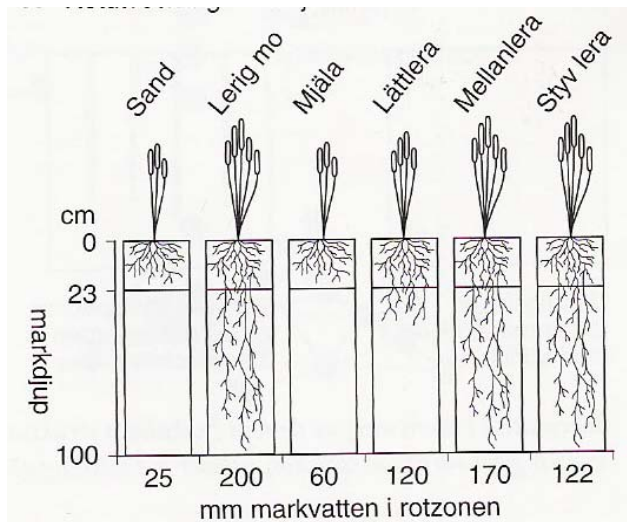
5.1. JORDENS EGENSKAPER

Jordens förmåga att ”leverera” växttillgängligt vatten beror inte bara på kornstorleksfördelningen utan även mullhalten. Rena mulljordar kan hålla mycket stora mängder vatten. Inte mindre än 80 – 90 % av den totala volymen ställs till förfogande för luft och växttillgängligt vatten i en mulljord.



Figur 2. Mängden växttillgängligt vatten för olika jordar per 10 cm jorddjup (Fogelfors, 2001).

Rotdjupet på olika jordar varierar mycket. Djupet på rötterna har därför mycket stor betydelse för växtens vattenupptag. Det som styr rotdjupet är hur stort vattenmagasin som jorden innehåller och om det finns tillräckligt med luft. Jorden måste innehålla luft för att rötterna ska kunna andas.



Figur 3. Rotutveckling i olika jordarter och hur stora mängder vatten grödan kan ta upp med hänsyn till rotdjupet och jordarten (Fogelfors, 2001).

Studerar man stapeln i mjåljorden (figur 2) framgår det att det finns gott om vatten i rotzonen. Det som gör att rotutvecklingen inte är större är att den begränsas av syremängden i jorden. Växten har problem med rotandningen och det begränsar rotdjupet i mjålan (figur 3).

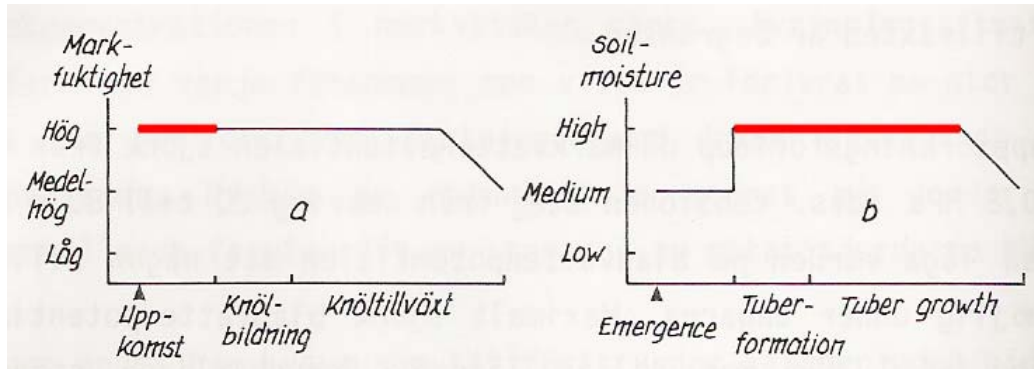
Figur 3 visar hur sandjordar ofta har grund rotutveckling och därmed dåligt vattenupptag samtidigt som jorden har en dålig vattenhållande förmåga. Sandjordarna kräver täta bevattningar i små givor för att undvika läckage. De flesta grönsaker har ett rotdjup på ca 25 cm och potatis runt 50 cm (Fogelfors, 2001).

6. STYRD BEVATTNING

Många svenska odlare tror sig ha tillräckligt med erfarenhet för att bestämma tidpunkt för bevattning endast genom att känna i jorden och titta på grödans allmänna tillstånd. Då en gröda visar vattenbrist i bladen har behovet av vatten redan funnits länge. Detta eftersom effekten av vattenbrist först kommer i rötterna och sist till växtens blad. Med styrd bevattning menas att lägga rätt mängd vatten vid rätt tidpunkt och utifrån det vara säker på att vattnet är tillgängligt när grödan behöver det. På detta sätt minimerar man även risken för utlakning genom att öka utnyttjandet av tillfört kväve (Harisson & Tyson, 1993). Det ger även minskat vattenuttag och ökad kapacitet på bevattningsanläggningen. Detta i sin tur ger bättre bevattningsekonomi. Normala bevattningskostnader är mellan 3-5 kronor per m³ vatten (Rosenqvist, 2005).

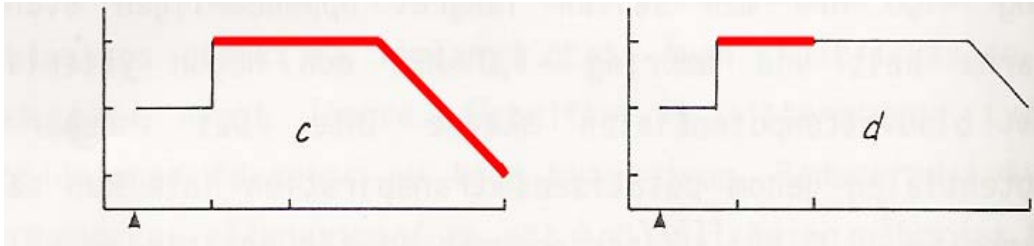
Styrd bevattning ger även resultat på grödan både i kvantitet och kvalitet. Kvalitetsfel kommer ofta som en följd av att en gröda varit utsatt för vattenstress. Mätningar har visat att potatis ofta är utsatt för denna typ av stress. I bevattningsförsök i potatis har man konstaterat att man under tillväxtperioden kan styra skördens kvalitet och kvantitet med hjälp av mindre förändringar i markfuktigheten under växtsäsongen (Linnér, 1984). I figur 4 visas hur man kan styra kvantitet och kvalitet med olika markfuktighetsmodeller. För att t.ex. ge potatisen bra förutsättningar till en tidig skörd bör hög markfuktighet eftersträvas under hela tillväxtsäsongen. För att få stora knölar rekommenderas medelhög markfuktighet fram till mitten av knölbildningens period, för att sedan hålla hög markfuktighet i slutet av växtsäsongen.

Diagrammen visar att även små ändringar i markfukten kan ha stor betydelse för hur kvalitén blir. Dessa skillnader i markfukten kan vara svåra att bedöma endast genom att "titta" och känna i jorden. Med tekniska hjälpmedel för bedömning av bevattningstidpunkt och giva ges information om markfuktens status. Informationen gör det lättare att tillföra grödan rätt mängd vatten vid rätt tidpunkt och på så vis styra exempelvis potatisens kvalitet och kvantitet. Markfuktighetsmodeller liknande för potatis i figur 4 hade kunnat göras till andra grödor som är känsliga för vattenstress eller som är kapital- och resurskrävande t.ex. sallat och gurka.



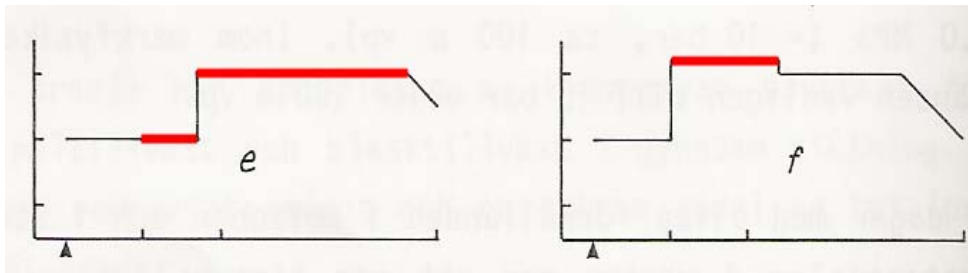
a) tidig skörd

b) hög avkastning



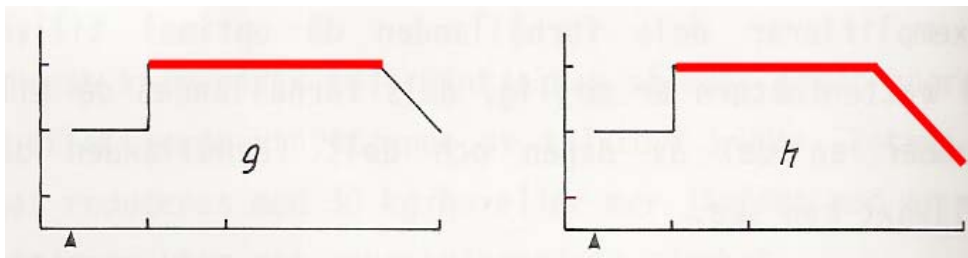
c) hög torrsubstanshalt

d) stort antal knölar



e) stora knölar

f) låg frekvens av vanlig skorv



g) lite omväxningar, växtsprickor mm.

h) god kokkvalité

Figur 4. Visar olika schematiska markfuktighetsmodeller för prioritering av olika kvalitetsegenskaper hos potatis (Linnér, 1984).

Kommentar: De viktigaste perioderna är markerade med kraftigare linjer.

Vid hög markfuktighet är vatteninnehållet i rotzonen nära fältkapacitet.

Med medelhög markfuktighet finns omkring hälften av det växttillgängliga vattnet kvar i rotzonen. Man har kommit fram till dessa optimala fuktighetskurvor genom flertalet utförda undersökningar rörande potatisens reaktioner på fuktighetsförhållande.

Figur 4 visar att även små ändringar i markfukten kan ha stor betydelse för hur kvalitén blir.

6.1. RÄTT UTFÖRD BEVATTNING GER BÄTTRE TILLVÄXT OCH EKONOMI

För mycket vatten leder till:

- Dränkta rötter, stressad planta p.g.a. nedsatt rotandning
- Att vissa svampsjukdomar gynnas
- Minskat näringsupptag, minskad tillväxt
- Vattnet kyler jorden, reducerar rotutvecklingen
- Utlakningsrisken av näringsämne och sprutmedel ökar
- Försämrade kvalitet på grödan
- Dyr och ineffektiv bevattning

För lite vatten leder till:

- Skördesänkning
- Försämrade kvalitet t.ex. ökad skorv- och växtsprickor och missformning på potatis (Linnér, 1984)
- Minskad tillväxt
- Svagare plantor
- Outnyttjat kväve lämnas kvar i marken med risk för utlakning

Källa: Fogelfors, 2001 om inget annat anges

6.2. HUR UTFÖRS STYRD BEVATTNING?

Som tidigare nämnts är det flera parametrar som avgör mängden växttillgängligt vatten i marken. Styrd bevattning bygger på att man känner till markfuktigheten i jorden antingen med hjälp av sensorer eller genom att göra en vattenbudget och därifrån anpassa bevattningen. Vitsen är att genom mätningarna känna till jordens ”fuktighetsstatus” och kunna påbörja bevattningen innan jorden når den kritiska gränsen för vad den klarar av att leverera. De mest vanliga tekniska hjälpmedlen att använda sig av för att bestämma bevattningstidpunkt har jag delat upp i två områden: sensorer med jordkontakt och de utan jordkontakt. Sensorer utan jordkontakt bygger på mätning av aktuell avdunstning.

7. INSTALLATION AV SENSORER MED JORDKONTAKT

För att sensorer enligt jordkontaktsprincipen skall fungera väl krävs att de har absolut jordkontakt. Installationsmomentet är ytterst viktigt. Sensorer som bygger på poröst material kräver extra noggrann installation. Här är det viktigt att inte göra större hål i jorden än nödvändigt. Detta för att inte förlora för mycket av den kapillära kraften runt sensorn. Det vanligaste är att man använder ett jordborr som har lagom storlek i förhållande till givaren för att undvika problemet. För bra resultat krävs det att sensorn har god kontakt med jorden och att det inte finns luftgropar eller stenar runt instrumentet. För att minska risken med luftgropar kan man slå lite vatten i hålet innan man sätter ner sensorn. Vattnet gör att jorden sluter bättre till. Gör man detta tar det dock några dagar innan man får ett rättvist mätvärde. Alla de mätare som jag tar upp utom Neutronmätaren ligger permanent nere i jorden. För att lätt hitta dem vid avläsning underlättar det om man märker ut platsen med en flagga. Nästan alla typer av marksensorer går att få loggade till en dator med kontinuerlig fjärregistrering. Det gör det enkelt att följa förändringar hemma vid datorn på ett linjediagram (Charlesworth, 2000).

7.1. PLACERING

Antal mätare som behövs på ett fält beror på hur mycket jordarten skiljer sig åt. Vid installation av sensorerna gäller det att välja ut platser som är representativa med resten av fältet. Grödans aktiva rotzon bestämmer på vilket djup sensorn ska placeras. På jordar med låg vattenhållande förmåga där bevattning måste utföras tätt kan det vara lämpligt att placera två sensorer på olika djup. Detta för att få en bra blick över hur markfukten rör sig och därefter lättare kunna bestämma en lämplig bevattningsgiva (Sowacs, 2005).

8. SENSORER MED JORDKONTAKT

I Sverige är inte många mätmetoder för jordfukt använda, men runt om i världen där tekniken används i större utsträckning finns ett stort antal produkter på marknaden. Om inget annat anges i kapitel åtta kommer fakta från Charlesworth, 2000.

Nedan har jag delat upp de mest använda produkterna efter deras mätningssätt. Det finns i huvudsak fyra sätt för sensorer med jordkontakt att mäta markfuktigheten: volymmässigt, neutronmätning, värmestegring eller med sugkraft (hur hårt vattnet är bundet).

Nedan har jag delat upp de mest använda produkterna efter deras mätningssätt:

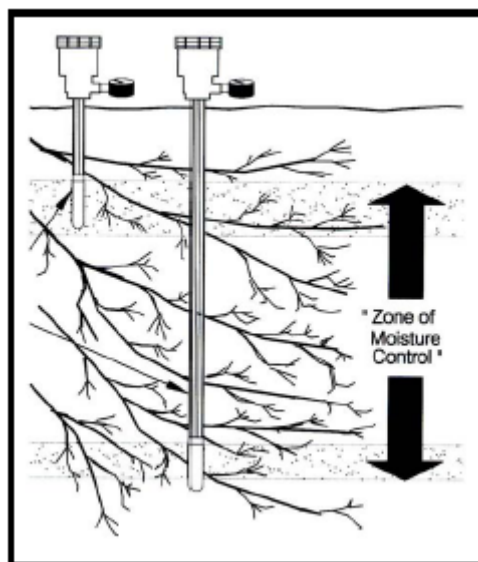
- | | |
|-------------------------------|--|
| a) Sugkraft | <ul style="list-style-type: none">• tensiometer• motståndsblock |
| b) Volumetrisk mätning | <ul style="list-style-type: none">• time domain reflectometry• frequency domain reflectometry |
| c) Neutronmätning | <ul style="list-style-type: none">• neutronmätare |
| d) Värmestegring | <ul style="list-style-type: none">• värmestegringsmätare |

8.1. SUGKRAFT

Instrumenten bygger på ett poröst material som antingen tar till sig vatten eller att vatten passerar materialet. När jorden sedan torkar dras vattnet tillbaka ur det porösa materialet.

8.1.1. Tensiometer

Detta är det enda hjälpmedel som direkt kan mäta ”storleken” på uppsugningsförmågan en planta måste använda för att få tag i vatten. Instrumentet mäter alltså hur hårt vattnet är bundet i marken. Det är en vattenfylld tub med keramisk nedre del med porhål i och en vakuummätare på överdelen. Tuben placeras i jorden med keramikdelen nere i grödans rotdjup och med mätaren över jordytan, figur 5. På en torr jord dras vattnet inne från tuben mot jorden och det uppstår då ett vakuum som kan läsas av på mätaren. Ju torrare jorden är desto högre vakuum kan avläsas på mätaren. När marken återfuktas drar vakuomet som uppstått inne i mätaren vatten från marken och då går det alltså att avläsa ett nytt och lägre värde på tensiometern. Det ”sug” en gröda måste använda för att få tag i vatten är mätbart med en tensiometer och kan sättas i relation till bevattningsbehovet. Tensiometern kostar mellan 750 och 3500 kr beroende hur lång den behöver vara. Metoden rekommenderas ej på lätta sandjordar eller på jordar med grov struktur p.g.a. att den ej kan mäta låga värden.



Figur 5. Tensiometrar i olika längder beroende på den aktiva rotzonen (Van der Gulik, 1997).

Fördelar

- Direkt avläsning, inget avläsningsinstrument behövs
- Mäter på en radie av ca 10 cm
- Kan kopplas till en dator för kontinuerlig avläsning
- Behöver ingen strömkälla
- Enkel att använda
- Tål vatten med hög salthalt

Nackdelar

- Begränsat avläsningsområde, fungerar ej under 1 bars avläsning
- Tar lång tid på sig
- Kräver absolut kontakt mellan jorden och mätaren
- Kan bli problem på ”svällande” jordar, keramikdelen förlorar lätt kontakten med jorden
- Kräver underhåll bl.a. kontroll av vätskemängd i mätaren

8.1.2. Motståndsblock

Gipsblock med ingjutna järntrådar grävs ner permanent på representativa platser på åkern. Isolerade kablar går sedan från de nergrävda blocken upp över markytan för att kunna pluggas in i en bärbar mätare, figur 6-7. Genom att mäta det elektriska motståndet i blocken kan man bestämma jordens fuktighet. Det elektriska motståndet varierar beroende på hur mycket vatten blocken tagit upp från jorden. När jorden torkar förlorar blocken vatten och det elektriska motståndet ökar. På detta sätt går det att få ett mått på hur mycket vatten jorden innehåller. Det är viktigt att lägga blocken i vatten innan installation för att få bort eventuella luftbubblor i blocken. Motståndsblocken kostar 1500-3000 kr och avläsningsinstrumentet 5500 kr. Rekommenderas inte på jordar som sväller och på mycket lätta jordar.

Fördelar

- Avläsning på en radie upptill 10 cm
- Lätt att använda
- Billig

Nackdelar

- Låg exakthet
- Mycket långsam reaktionstid
- Fungerar dåligt på lätta jordar, blocken har långsammare reaktion än jorden
- Inte lämplig på jordar som ”sväller”
- Risk att kapillärkraften påverkas vid installation vilket ger fel mätvärde



Figur 6-7. Motståndsblokk med tillhörande avläsningsinstrument (Sowacs, 2005).

8.2. VOLUMETRISK MÄTNING

Går ut på att man mäter jordens ledningsförmåga. För att bestämma ledningsförmågan används elektromagnetiska vågor. Redan vid små ändringar i markfukten ses stora skillnader mellan ”vågorna”.

8.2.1. Time domain reflectometry (TDR)

Här mäts hastigheten/tiden för en elektromagnetisk våg att passera jorden. Beroende på markfukten ändras hastigheten för vågen att passera, figur 8-9. Utrustningen kostar mellan 4000 och 7000 kr, vill man ha mätinstrumentet förberett för dataövervakning kostar det ca 15-23000 kr. Metoden rekommenderas inte på tunga lerjordar då de elektromagnetiska vågorna ger missvisande information.

Fördelar

- Exakthet på mellan 0,5-2 %
- Behöver normalt inte kalibreras efter jordart
- Inte känslig för temperatursvängningar
- Kan mäta jordens konduktivitet, vilket gör att man kan se jordartsvariationer.

Nackdelar

- Relativt dyr mätutrustning
- I jordar med mycket bundet vatten behövs kalibrering, t.ex. mulljordar med mycket organiskt material
- Mäter i en liten radie runt instrumentet ca 3 cm
- Ej trovärdiga mätresultat på tunga lerjordar eller jordar som innehåller vatten med hög salthalt



Figur 8-9. TDR-mätare med sina ”spjut” som skickar iväg elektromagnetiska vågor (Sowacs, 2005).

8.2.2. Frequency domain reflectometry (FDR)

FDR-instrument får fram markfuktigheten genom att mäta ledningsförmågan mellan två nergrävda elektriska stift, figur 10-11. När ström kopplas på i ena spjutet kan en frekvens mätas i ett annat stift. Frekvensen ändras beroende på markens ledningsförmåga. Priset varierar mycket mellan produkterna och ligger från 12000 kr för 4 sensorer till 35000 kr/styck för de bästa modellerna.

Fördelar

- Fungerar på alla jordar
- Hög exakthet på mellan 0,5-1% vid jordartskalibrering
- Klarar av att mäta vattenhalter med hög salthalt

Nackdelar

- Litet mätområde, 95% av mätresultatet kommer från en 4 cm radie runt stiftet
- Mycket viktigt att jorden sluter väl till runt sensorn och att man får god kontakt däremellan för att få pålitliga mätvärden
- Känslig för luftgropar runt sensorn, noggrann installation är ett krav
- Känslig för skillnader i temperatur, jorddensitet och lerförekomst i jorden vid mätningar



Figur 10-11. FDR-mätare grävs ner i jorden och mäter frekvensen på utskickade signaler (Sowacs, 2005).

8.3. NEUTRONMÄTNING

Neutronprincipen mäter förekomsten av väte som finns i marken. Det enda i marken som innehåller väte är just vatten. Därför är vätemängden ett direkt samband till markens fuktighet, figur 12. Denna mätmetod är mycket säker och effektiv. Men används knappt inte längre p.g.a. att den är radioaktiv. Denna utrustning kräver utbildad certifierad personal så man hyr vanligtvis in tjänsten. Priset ligger runt 100 000 kr för apparaten.

Fördelar

- Fungerar bra på alla jordarter
- Mycket hög exakthet på 0,1-0,5%
- En mätare kan kontrollera markfuktigheten på flera olika djup
- Stor mätradie mellan 10-40 cm beroende på förutsättningarna
- Luftgropar och vattnets salthalt påverkar ej resultatet
- Kan användas för kalibrering av sensorer med jordkontakt

Nackdelar

- Otrevlig att jobba med p.g.a. den radioaktiva strålningen
- Kräver certifierad personal
- Behöver jordartskalibreras
- Stort och klumpigt instrument
- Varje test tar lång tid
- Kontroll av markfukten i jordens ytskikt är svårt och ger en låg exakthet samtidigt som risken för strålning ökar ju grundare prov som tas
- Dyr att köpa



Figur 12. Visar en stor och klumpig Neutronmätare (Sowacs, 2005).

8.4. VÄRMESTEGRING

Tekniken grundar sig på hur mycket en jord värms upp av att en konstant mängd energi tillsätts. Ett värmelement som placeras nere i marken värmer jorden med en konstant energimängd i en viss tid (ca 5 sek), figur 13. Därefter mäts jordtemperaturen. En jords fuktighet har stor betydelse på hur lätt denna är att värma upp. Torr jord är mycket lättare att värma upp än en fuktig. Priset för denna mätutrustning är mellan 3-5000 kr. Rekommenderas inte på jordar med grov struktur.

Fördelar

- Stort mätområde
- Kräver inget underhåll
- Stort mätområde ca 10 cm radie
- Kontinuerlig mätning är möjlig
- Inte känslig för salthaltigt vatten

Nackdelar

- Långsam reaktionstid, lätta jordar kan ge fel mätvärde
- Kräver hög effekt till uppvärmning



Figur 13. Värmestegringsmätare (Sowacs, 2005).

9. SENSOR UTAN JORDKONTAKT

Det går även att bestämma vattenunderskottet och bevattningstidpunkten utan att använda sensorer med jordkontakt. Man får då göra en ”vattenbudget” där mängden vatten som finns tillgängligt i marken för växten beräknas.

För att räkna ut en vattenbudget krävs att man känner till följande faktorer

- jordens vattenhållande förmåga och fältkapacitet
- avdunstning från gröda och mark
- förbrukning i växten
- nederbörd

Med hjälp av dessa faktorer kan du räkna ut hur många dagar jorden kan ”servera” växttillgängligt vatten till grödan vid en viss avdunstning. Med en evaporationsmätare (avdunstningsmätare), figur 14, mäter man den aktuella avdunstningen i en gröda. Mätaren placeras på en öppen plats 1,5 meter över marken. Nederbörden som blir i fältet antingen genom regn eller bevattning kontrolleras med en regnmätare. Detta räknas som plus i budgeten och avdunstningen som minus (Svensson, 2004).

Exempel på hur en vattenbudget kan se ut

Förbrukning (gröda, mark, avdunstning)	6 mm/dygn
Växttillgängligt vatten i jorden	30 mm
Nederbörd under perioden	12 mm

Enligt förutsättningarna ska bevattning göras då ca 60 % av det växttillgängliga vattnet förbrukats.

$60\% * 30 = 18 \text{ mm}$ och $18 \text{ mm} / 6 \text{ mm} = 3 \text{ dygn}$.

Bevattning bör utföras efter 3 dygn om ingen nederbörd fallit under perioden.

Om nederbörden på 12 mm fallit efter dag 2 då 12 mm förbrukats så kan bevattningen skutas upp 2 dygn $12/6=2$.



Figur 14. Anderssons avdunstningsmätare är enkel och billig men kräver tillsyn ofta (SSP, 2005).

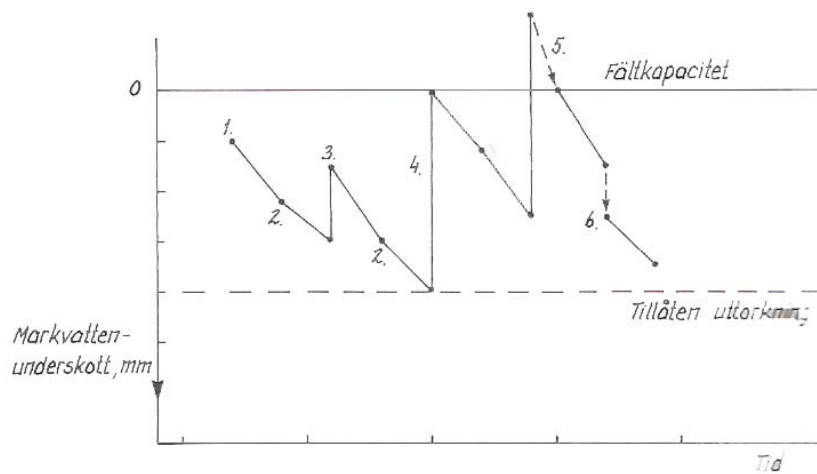
Mätaren är en plexiglasburk som fylls till ungefär hälften med avjoniserat vatten, figur 14. Sedan sker avdunstning genom hålen från den övre kanten. Avdunstningen är likvärdig med grödans vattenförbrukning och ändras beroende på vind, temperatur, solinstrålning och luftfuktighet. När vatten fyllts i burken justeras nålen med gradering ner så att spetsen når vattenytan. För att mäta avdunstningen justeras nålen till vattenytan återigen och nålens gradering visar vattenförlusten från grödan. Avdunstningsmätaren är ett enkelt sätt att bestämma vattenförlusten från rotzonen med och den kostar ca 1000 kr.

10. BEVATTNINGSTIDPUNKT

Sensorer med jordkontakt presenterar mätresultaten i olika enheter. Det kan vara i centibar, ”inches per foot” eller vattenhaltsprocent i en jordvolym beroende på mätteknik. Med sensorernas information om markfuktens tillstånd bestäms lämpliga ”startvärden” och givor för bevattning. Rekommendationerna varierar mellan olika jordarter och grödans känslighet, men generellt brukar man säga att bevattningen bör påbörjas när 50-60 % av det växttillgängliga vattnet har förbrukats. Vid mätning med marksensorer sätts olika mätresultat i relation till varandra för att veta när detta värde är uppnått. En indikation på att bevattningsstart närmar sig vid användning av sensorer med jordkontakt är när det uppstår svängningar i mätresultaten. Dessa uppstår då jorden börjar torka upp och det växttillgängliga vattnet blir svårare att få tag i. Mätarna ska avläsas oftare om det är låg markfuktighet, då förändring sker snabbt. Det tar t.ex. 4 dagar för markfukten att gå från 10 till 15 centibars (våt jord), men bara 1 dag att gå från 25 till 30 centibars (torr jord) vid mätning med tensiometer (Charlesworth, 2000).

10.1. HUR ANVÄNDS MÄTRESULTATEN

Informationen om jordens fuktighetsstatus är ett bra hjälpmedel då det är svårt att bestämma bevattningstidpunkt. Vid regn ges en bra indikation på hur effektivt nederbörden kommer växten tillgodo. Beslutssystemen ger även bra inblick i när grödan behöver vatten och hur mycket som förbrukas i olika växtstadier. Med en tids erfarenhet av sensorerna lär man sig ungefär hur länge grödan klarar sig med aktuell mängd växttillgängligt vatten. Detta gör det lättare att planera bevattningen på gården.



Figur 15. Modell för beräkning av förändring i markvattenförrådet och bestämning av bevattningstidpunkter (Linner, 1984).

1. Uppmätt eller uppskattat utgångsvärde
2. Förrådet minskar med aktuell evapotranspiration
3. Förrådet ökar vid bevattning
4. Förrådet ökar över fältkapacitet vid nederbörd
5. Överskott rinner av (utlakning), jordens fältkapacitet infinner sig efter 1-2 dygn
6. Justering till uppmätt värde

Informationen från mätningar av jordens fuktighetsstatus gör det lättare att planera och effektivisera sin bevattning. Intervallet mellan fältkapacitet och tillåten uttorkning varierar mycket mellan jordart och gröda. Ju torkkänsligare gröda som odlas på jordar med lägre fältkapacitet desto mindre intervall ges att spela på. Detta gör det svårare att tillsätta optimal mängd vatten vid rätt tillfälle. Väntas dessutom ostadigt väder de närmaste dagarna får man dra ner på givan för att det väntade regnet ska "få plats" och utlakning undvikas, figur 15.

11. FÄLTFÖRSÖK MED OLIKA SENSORER

Olika sensorer för att mäta markfuktigheten jämfördes i ett fältförsök under en växtsäsong på Irrigated Agriculture Research and Extension Center på Washington State University. I detta försök ville man ta reda på om sensorernas exakthet räcker för att användas till att bestämma bevattningstidpunkt. Man ville se hur de uppmätta värdena i jordens fuktighet stämde med de väntade förändringarna orsakade både av grödans avdunstning och tillfört vatten.

Sensorerna som testades i försöket var.

- Tensiometer, Watermarks® (gipsblock) som bygger på poröst material.
- EnviroScan®, Troxler Sentry®, AquaTel® som tillhör gruppen FDR
- Aquaflex® bygger på TDR tekniken

Sensorerna jämfördes med tre olika parametrar:

Bevattnings- och avdunstningsförhållande samt jämförelse med en välkalibrerad **markfuktighetsmätare** (Neutronmätare). Neutronmätaren anses ha den högsta exaktheten, men används lite p.g.a. sitt innehåll av radioaktivitet.

De olika sensorerna kalibrerades av försäljarna. Därefter avlästes jordens fukttinnehåll på varje sensor vid två olika platser i varje försöksruta både före och efter bevattning. Skillnaden som uppstod mellan värdena jämfördes med den mängd vatten som fanns i regnmätarna efter bevattning. Värdet som framgick kallar man Irrigation Ratio (bevattningsförhållande). I de flesta fall är detta under 1,0 med vilket menas att uppmätt ökning i markfuktigheten var mindre än tillförd mängd vatten.

Detta tror man är den mängd vatten som avdunstat från grödans blad innan det nått marken, alltså rena spridningsförluster. Forskningscentrets väderstation (PAWS) användes även för att mäta avdunstning (ET) från grödan mellan bevattningarna. Avdunstningsförhållandet jämfördes sedan med mätvärdena från sensorerna.

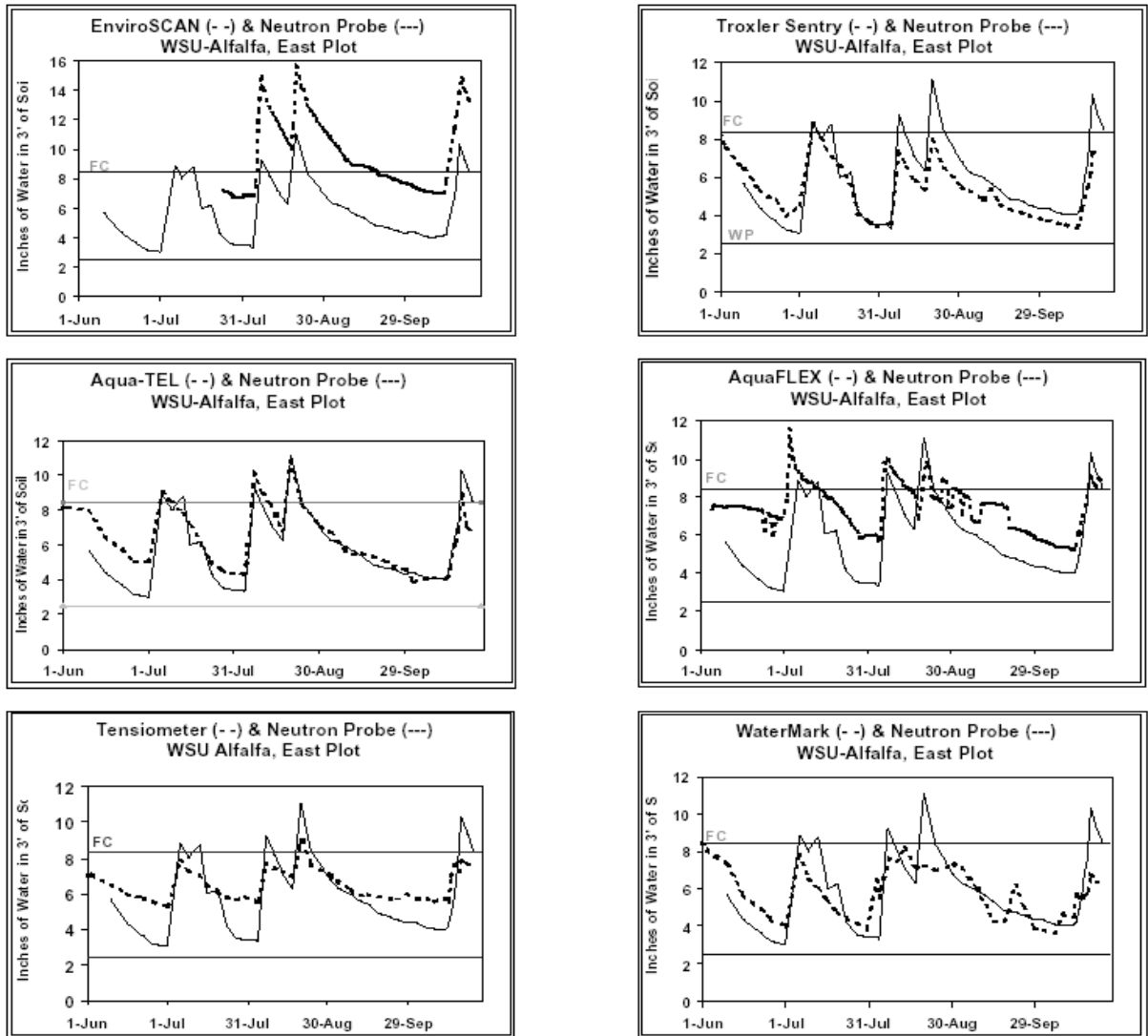
I tabell 1 framgår vilka mätare som stämmer bäst överens. Man jämför sensorernas värde med väntad mängd vatten i marken. För att få fram ”väntad” mängd vatten tog man uppmätt tillförd vattenmängd minus den mängden vatten grödan förbrukat via avdunstning. Sensorer som i tabellen under Irrigation ratio och Paws ET ratio landat närmst 1,0 har störst exakthet.

Tabell 1. Relativa exaktheten mellan markfuktighetssensorer (Leib, B. G, 1999)

	IRRIG. RATIO	PAWS ET RATIO	Correlation Value
NEUTRON PROBE – EAST	0.86	0.86	1
WEST	0.78	0.87	1
ENVIROSCAN - EAST	1.13	1.14	0.97
WEST	0.88	0.94	0.96
TROXLER SENTRY - EAST	0.58	0.67	0.82
WEST	0.57	0.63	0.82
AQUATEL - EAST	0.71	0.81	0.79
WEST	0.45	0.43	0.65
AQUAFLEX - EAST	0.77	0.45	0.71
WEST	0.38	0.23	0.65
TENSIOMETER - EAST	0.4	0.42	0.86
WEST	0.39	0.34	0.68
WATERMARK - EAST	0.28	0.59	0.52
WEST	0.1	0.6	0.12

För att få reda på hur mycket fukta marken verkligen innehöll användes en Neutronmätare. Denna kalibrerades efter olika jordprover som man visste markfuktigheten i efter att de viktanalyserats. Sensorerna jämfördes med Neutronmätare (Neutron Probe) för att få ut ett korrelationsvärde. Värden närmst 1,0 ger en större möjlighet att kalibrera den testade sensorn så den följer den korrekta kurvan.

Värdena från de olika sensorerna sammanställdes i ett linjediagram, figur 16. Där man lätt kan jämföra de olika kurvorna. Lusern bevattnades vid fyra olika tillfällen. Detta syns tydligt via diagrammens toppar. För att tydligt visa ”svängningar” i resultaten utsattes grödan för stark torka tre gånger, vilket ses som dalar i diagrammet. Linjen som blev från EnviroScan var i det närmsta identisk med linjen från neutronmätaren, vilket visar på en hög exakthet.



Figur 16. Linjediagram över resultatet mellan de olika sensorerna i jämförelse med den välkalibrerade och trovärdiga Neutron mätaren (Leib, B. G, 1999).

Resultatet från alla sensorer visar ett klart samband i diagrammet, samtliga följde jordens fuktighet på ett trovärdigt sätt. Alla sensorers exakthet i detta försök hade räckt för att bestämma bevattningstidpunkt och giva med enligt bevattningsspecialist Brian G. Leib på Washington State University. Försöket visade att Enviroscan®, Troxler® och AquaTel® hade högst exakthet. En bättre kalibrering av dessa mätare hade gjort att de följt linjen från neutronmätaren väl. Dessa tre produkter tillhör alla metoden som mäter fuktigheten genom FDR-teknik. Jordarten där detta försök ägde rum var lera, vilket är just FDR- mätarnas bästa jordart.

12. DISKUSSION

Svenskt lantbruk går mot allt tuffare tider ekonomiskt, vilket har och kommer att resultera i att andelen odlade specialgrödor på lätta jordar med krav på bevattning kommer att öka. Enligt kvalitetsprogrammet IP (integrerad produktion) skall all bevattning av grödor kopplade till kvalitetssystemet baseras på aktuell markfuktighet eller avdunstning. Detta innebär att stora mängder grönsaks- och färskpotatisodlingar skall vattnas efter antingen vattenbudget eller marfuktssensor. Efter en egen intervju jag gjorde visade att endast ett mycket fåtal grönsaksodlare som är med i IP-programmet använde sig av tekniken. Där det praktiserades var det främst avdunstningsmätare som användes.

Sverige är som jag ser det ett u-land när det gäller att använda sig av teknik för att bestämma bevattningstidpunkt. En orsak kan vara att vatten är för billigt och är för lätt att få tag på, för att tekniken ska vara intressant här i Sverige. En annan kan vara att man i Sverige har för dålig bevattningskapacitet, man vattnar istället efter ett rullande schema. I dag diskuteras mycket precisionsodling inom lantbruket, t.ex. så är optimal kvävetillförsel med N-sensor kanske på väg att få sitt stora genombrott på markanden. Men vad är vitsen med att lägga en optimal kvävegiva om man inte har rätt mängd vatten till det? För mycket vatten leder till kväveläckage, och tillfört kväve i en torr jord kan inte växten ta upp. Detta gäller naturligtvis mest på lätta jordar som inte kan hushålla med kväve.

Det skall visserligen tilläggas att vi tillhör de humida områdena i världen. Detta ger oss bättre förutsättningar för att bedriva växtodling med mindre bevattningsinsats än på många andra platser i världen. Problemet med nederbörden är att den ofta inte är lämpligt fördelad under växtodlingsåret. Men med den nya tekniken för mätning av markfukt kan man följa hur väl nederbörden kommer växten tillgodo. Detta i sin tur gör det lättare att planera sin bevattning och man kan på så sätt öka sin bevattningskapacitet och precision på tillförseln. Vid bevattning efter ”kontrollerat bevattningsbehov” tror jag man kan tjäna in cirka 2 bevattningar per år. Detta gör att man sparar ungefär 1200-2000 kronor per/hektar och år, om man vid varje tillfälle lägger 20 mm och sätter priset för bevattningen till 3 -5 kronor/m³ (Rosenqvist, 2005). Dessutom kan man räkna vinster i sparat kväve, jämnare och bättre kvalitet m.m.

Min undersökning visar att en del marksensorers exakthet räcker väl till för att bestämma tidpunkt och giva för bevattning. Exaktheten på resultaten beror till stor del på hur väl den valda mättekniken passar jordarten. Hade försöket jag tog upp gjorts på en annan jordart hade kanske en annan grupp än FDR-mätarna klarat sig bäst. När man väljer vilken sensor man tänkt köpa är det flera faktorer spelar in bl.a. vilken jordart som är dominerande.

I mitt arbete tog jag endast upp ett fältförsök. Jag valde just detta försök för jag bedömde att det hade högst trovärdighet och jämfördes i flest parametrar. Resultaten jämförde jag med andra försök som publicerats på Internet och alla försöksresultaten på liknade

jordart ser ungefär likadana ut. Det hade varit intressant om man i försöket haft en person som bedömt markfukten med ”handen” och sedan jämfört de resultaten med sensorerna.

Slutsatsen är att vilken metod man än väljer måste man lägga ner mycket tid för att behärska den nya tekniken. Det är viktigt att känna till följande parametrar för att kunna utnyttja systemet fullt ut:

- Hur känslig är grödan för vattenbrist (tillåten uttorkning)
- Grödans aktiva rot djup och därmed mängd tillgängligt upptagbart vatten
- Var gränsen går för hur mycket vatten jorden kan leverera

Fördelen med evaporationsmätaren är att man slipper krånglig installation och att den är en säker och enkel metod att använda. Utrustningen kräver inte heller något speciellt underhåll och är inte jordartsspecifik. Nackdelen är att den kräver manuell avläsning och att det inte går att mäta hur hårt vattnet är bundet i marken, vilket gör det svårt att mäta växtens vattenstress samt kapillär tillförsel.

Fördelen med marksensorer är att nästan alla kan länkas till en dator för kontinuerlig och automatisk avläsning. Nackdelarna är att det kan behövas flera mätare för att få ett medelvärde på ett fält. De flesta är även känsliga vid installationen med risk för att luftfickor och stenar stör mätresultatet.

13. REFERENSER

Charlesworth, P, 2000. Soil water monitoring, Irrigation Insights number one, CSIRO Land and Water

Fogelfors, H. (Red), 2001. Växtproduktion i Jordbruket, Natur och kultur/LT's förlag

Harrison, K., Tyson A. 1993. Irrigation Scheduling Methods, Cooperative Extension Service, The University of Georgia College of Agricultural & Environmental Sciences

Linnér, H. 1984, Markfuktighetens inflytande på evapotranspiration, tillväxt, näringsupptagning, avkastning och kvalitet hos potatis. SLU, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Rapport 142 Uppsala 1984.

Leib, B, G., Mattehws, G. 1999. The relative accuracy of soil moisture sensors used in Washington State. Department of biological research and extension centre Washington State University, Prosser WA, Paper No. 992270

Sowacs, The central resource for soil moisture measurement. Februari 2005.

<http://www.sowacs.com>

SSP, Konsortiet sydsvensk potatisforskning. Januari 2005. <http://www-ssp.slu.se>

Svensson, SES. 2004. Bevattning av grönsaker (kompendium). Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, SLU Alnarp

Van der Gulik, T.1997. Irrigation scheduling techniques. Water Conservation Factsheet. British Columbia. Ministry of Agriculture and food. Order No. 577.100-1

Muntliga

Abraham, Joel, Markvetenskap, SLU, Uppsala. Februari 2005

Gissén, Charlott, SLU, Alnarp. Januari 2005

Linnér, Harry, Marvetenskap, SLU, Ultuna. Februari 2005

Malm, Peter, Hushållningssällskapet Kristianstad. December 2004

Rosenqvist, Ola, Rosenqvists Mekaniska AB. Kristianstad. Januari 2005.

Settlin, Tomas, Lyckeby Stärkelse. November 2004

Thylén, Lars, JTI, Uppsala. Januari 2005.

Baslitteratur

Ascard, J., Hallefält, F. 2002. Projekt om bevattning i potatis 2001. SLU, Alnarp, Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik

Colorado State University Cooperative Extension. 2 november 2004.
<http://www.ext.colostate.edu>

Departement of water resources California. 1 mars 2005. <http://www.owue.water.ca.gov/>

Ekbladh, G., Linnér, H., Torstensson, G. 2004, Kväveutnyttjande i potatis- och grönsaksodling, Greppa näringens fakta blad

Institutet för jordbruks- och miljöteknik. 15 februari 2005. <http://www.jti.slu.se>

Leib, B. G. 1998. Survey of irrigation scheduling providers. The Washington Irrigator Newsletter, Washington State University, Prosser WA.

Leib, B. G. 1999. Washington irrigators implement irrigation scheduling. The Washington Irrigator Newsletter, Washington State University, Prosser WA.