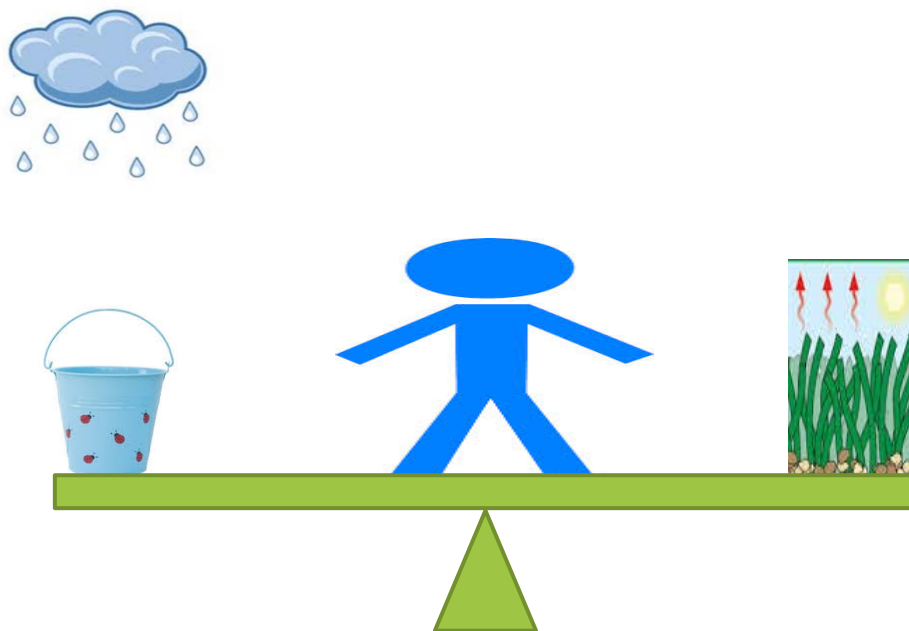


Hållbar Vattenresursplanering: en guide till watermanagement i ett gårds perspektiv.

Strategic Water management planning: a guide to management on the
farm

Mathias Nilsson



Självständigt arbete • 15 hp

Trädgårdsingenjör:odling – kandidatprogram

Alnarp 2015

Hållbar Vattenresurs planering: en guide till watermanagement i ett gårdsperspektiv.
Strategic Water management planning: a guide to management on the farm

Mathias Nilsson

Handledare: Helena Karlén, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Examinator: Lotta Nordmark SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatarbete i trädgårdsvetenskap, Trädgårdsingenjörsexamen

Kurskod: EX0495

Ämne: Trädgårdsvetenskap

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsmånad och -år: Januari 2015

Serienamn: Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Transpiration, Evaporation, Evatranspiration, Ecohydrologi, Markvattenbalansen

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för Landskapsplanering, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Förord

Efter att läst en lång rad av FAO rapporter och klimatutredningar om tillståndet för världens jordbruk är det uppenbart att det misstag som kallas för gröna revolutionen håller på att upprepa sig. Att man i utvecklingsländerna sätter samhällsbyggandet högs på agendan och under ställer där med i stort sett allt annat är en problematik som gått i arv från vår industrialisering. Med en ständigt växande världsbefolkning ökar människan påverkan på naturen och ekosystemen. I horisonten ser det mörkt ut för morgondagens generation att mätta sina magar och släcka sin törst ur samma källor som vi och hundra tals generationer innan oss har gjort. Konkensus i denna rapport är att endast med kunskap och bildning kan vi lösa detta kniviga läge som morgondagens generationer ärver av oss. För inspirerande samtal tackar jag Helena Karlen, Beatrix Alsenius och Lotta Nordmark på Institutinen för Biosystem och teknologi. Jag vill även tacka Dr Eric Danell, Monika Nilsson och Per Dicheman utan er hade denna uppsats inte blivit så bra som nu ett stort tack!

Mvh Mathias Nilsson

Rängsand 2015

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	5
Summery	6
A. Inledning.....	7
A.1 Historik	8
A.5 Avgränsning.....	9
metod	10
B.1 Riska analys stege	10
C. Material	12
Fältstudier.....	12
D. Litteratur undersökning.....	14
D.1.1 Klimat	14
D.1.2. Instrålning	15
D.1.3 Temperatur	15
D.1.4 Nederbörd.....	16
D.1.5 Luftens fuktighet	16
D.1.6 Absolut och Relativ luftfuktighet	16
D.2 Biologiska grunder	16
D.2.1Transpiration.....	17
D.2.2 Evaporation, avdunstning	18
E. Resultat.....	18
E.1 Riskanalystegen	18
E.2 Genomförande.....	24
F. Diskussionen	25
Klimatparametern	25
Substratparametern	25
Vattenmanagementparametern	26
kulturåtgärder	27
Felkällor	28
SLUTSATSER.....	28
REFERENSLISTA	29

Sammanfattning

Efter en tid av uteblivit nederbörd kommer såväl underjordiska som ovan jordiska vatten magasin att utgöra begränsningen för växtodlingen på platsen. Mängden vatten av det tillgängliga vatten som förångas från vattenmagasinen beror främst på atmosfärens krav på vatten s.k. evaporationstryck. När vattnet förångas skapas ett underskott i jorden. När detta underskott närmar sig vissningsgränsen är vattenbristen ett faktum. Hur stor skada växtligheten och det mikrobiella livet i jorden beror på jordmån, växtslag, klimat. I detta arbete kommer det beskrivas hur atmosfären påverkar markfukten. Genom experimentell dataanalys utvärderas ett områdes hydrologiska värde i avseende på odlingspotential. Resultatet kommer att presenteras som stor liten eller ingen risk för fuktdeficit. Modellen kommer från Kina, där den används för att planera kulturåtgärder utifrån atmosfärens påverkan på markfukten. I takt med att klimatet förändras kommer livet på jorden som vi känner det också att förändras. Det är viktigt att vi som förvaltare av vår genesamma jord är med att skapa ett jordbruk som inte försämrar eller förändrar möjligheterna att bedriva produktion av mat för kommande generationer. Detta arbete är tänkt att sprida kunskap om det hydrologiska kretsloppet och möjligheterna att själv göra analyser av hur atmosfärens skiftningar påverkar markfukten på gårdsnivå. Och vilken påverkan som man själv som växtodlare i odlingslandskapet kan göra. Författaren till detta arbete har kommit till slutsats att som odlare bör man göra en generell riskbedömning om det föreligger risk för fuktdeficit och om hur detta påverkar möjligheterna att bedriva ett jordbruk med hållbar utveckling. Arbete ska vara till hjälp som en första guide till ett resurssnålt vattenmanagement där målet inte är att tjäna så mycket som möjligt. Att bruka sin jord på hållbart sätt är en minst lika stor utmaning som att fylla hela ladan med pengar.

Summery

After a period of missed precipitation the underground water facilities will be dried up. How long time your crop can survives without water is depending on your storage capacity in the ground and on the ground. This essay will guide you how to make a basic water management program that will help you to monitor the water balance on a farm level. By summering precipitation and labelling it with incoming water we will get an idea of the potential evaporation this land has to offer. This idea is then transformed throw an experimental equation to construct a water content account where input is rain and evapotranspiration output. If the balance is positive the risk for drought is low. On the outer hand if the balance is low the soil or risk for water deficit. The model comes from China, where it is used to the cultural action due to the atmospheric effects on soil moisture. The climate is changing life on earth as we know it also changing. This work is meant to spread awareness of the hydrological cycle and how the change affects the soil moisture at the farm level.

In Sweden there are currently no systematic measurements of soil moisture and without knowledge of the substrate, the result is all too vague.

The conclusion is that the best way to run a water management program is by doing a general assessment of how the atmosphere will affects the terms for soilwater and it's availability at the farm level. Especially if the substrate is poor and the content of biological material are low.

A. INLEDNING

I Sverige södra delar råder det under delar av året brist på vatten något som i framtiden förspås att öka. Många prognoser tyder på högre temperaturer och mindre nederbörd under sommartid. Det gör att konkurrensen om vattnet hårdnar samtidigt som bevattningsbehoven ökar (SOU 2007:60). Enligt många på området gjorda forskningar är temperaturökningen en följd av klimatförändringar som de senaste åren blivit allt tydligare, med en höjning av dygnsmedeltemperaturen beräknas nederbörden att minska med 10 %. Detta scenario har redan observerats på vissa delar av norra halvklotet där klimatet tillhör det varmttempererade klimatet (Shiklomanov 1998). Minskad nederbörd riskerar att leda till begränsning av färskvattnet med 40-70%.

Bilden i figur 1 visar på sambandet mellan markanvändning och tillgängligheten på färskvatten är en stor fråga.

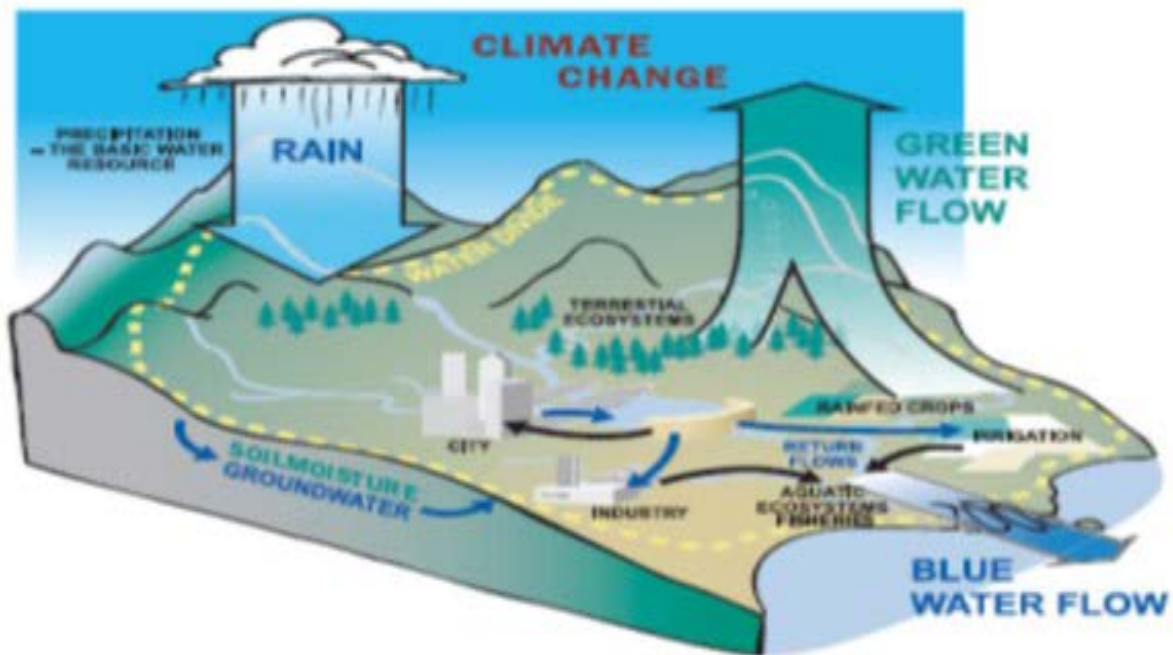


Fig 1 Det hydrologiska systemet. Källa: Rockström and Falkenmark 2000, The neglected resource.

Bilden beskriver det hydrologiska kretsloppets cykliska karaktär. Den del av regnet som tas upp direkt i grönmassan benämns grönvatten i Falkenmark (2000) modell. Genom den uppåtgående transpirationen kommer grönvattnet att återgå till atmosfären, storleken på grönvattnet motsvarar grönmassans behov av vatten och påverkas av markanvändningen. Det vatten som inte blir grön vatten blir ytvatten s.k. blå vatten och kommer att fördelas mellan olika intressenter: Samhälle, industri och naturen. Falkenmark (2000) menar att för att nå balans mellan den hydrologiska cykeln och markens ekosystem måste användandet av vattenresurser vara i balans med markanvändningen.

I detta arbete kommer termerna grönvatten och blåvatten att användas för att återknyta till Falkenmarks modell för den hydrologiska cykeln och där med behovet av en helhetssyn (bassängperspektiv) på hur vatten fördelas och används. Vattenbrist och hungersnöd är starkt kopplade tillvarandra och breder ut sig globalt i takt med befolkningsökningen. Industrin kämpar mot jordbruket och samhällsbyggandet om rätten till vattnet och visa versa. Klimatförändringen driver på förloppet genom att vattnet i det hydrologiska kretsloppet cirkulerar snabbare med ökade temperaturer och hittar nya banor s.k. förändrade nederbördsmonster.

A.1 Historik

Under den så kallade "grön revolution" öka livsmedelsproduktion per arealenhet kraftigt, skördarna på ris, vete, och majs ökade från 1,4 ton per hektar 1960 till 2,8 ton 1995 (Falkenmark 2003). Framför allt var det på bevattningsutveckling som gjorde det möjligt därför kom detta att kallas konstbevattningens gyllne era (Falkenmark 2003). De höga skördarna som gröna revolutionen gav upphov till har lett till att man i dag konstbevattnar 270 miljoner hektar åker motsvarande ca 17% av all åkermark (Pascale et al. 2011). Så sent som 2008 tog det konstbevattnade jordbruket ca 70 % (Evens och Sadler 2007) av jordens totala färskvattentillgång, man beräknar att till 2025 ska användningen av sötvatten för konstbevattnade grödor öka med 17% (I.W.M.I. 2000). Konkurrensen om färskvattnet hårdnar när vattenmagasinen sinar.

🌻 I dag finns det en paradox mellan människan och naturen. Å ena sidan finns oro för att matbrist uppmuntrar till allt större användning av vattenresurser till jordbruket, å andra sidan finns det ett behov att avleda vatten från konstbevattnade odlingsystemet för att skydda naturliga resurser och återställa ekosystem. I

Utmaningen att nå millenniemålet att utrota hunger finns flera möjliga val t.ex. kan vi ändra kosten till vegetabilier, sluta framställa drivmedel på åkermark. Utredning crops for drops 2000 (FAO2000) konstaterar att konstbevattning krävs för att säkra primär livsmedelsproduktion, men utan framsteg på det överlägset största produktion arealerna i det regnsbevattnade jordbruket kommer millenniemålet aldrig att uppnås.

I dag saknar ca 800 miljoner människor tillgång på mat och friskvatten detta främst i regioner där konstbevattningen idag har stor negativ påverkan på ekosystemet (Rijesman 2004).

A.3 Syfte

- Att fördjupa förståelsen för färskvattentillgång och hur man ska planera för framtidens vattenförbrukning och motarbeta utarmningen av våra jordar inom jordbruket.

•

A.4 Frågeställning

Vilket beslutsunderlag behövs för att kunna tillämpa ett restrikt bevattningsmanagement med bibehållen markbördighet?

Vilka faktorer styr vattenanvändningen på odlingsplatsen?

A.5 Avgränsning

Substratens/markens vattenbuffrande förmåga behandlas inte. Kvantitativa aspekter på vattenanvändningen belyses men inte kvalitativa. Vidare går arbetet inte in på enskilda grödors vattenbehov eller på bevattningstekniska lösningar. I arbetet diskuteras olika verktyg för att förbättra vattenhushållningen, men förslag på åtgärder ingår inte.

B. METOD

I resultatet finns det beskrivit hur markfuktens storlek påverkas av atmosfären d.v.s. hur tillgängligheten på markvatten varierar under växtsäsongen 2012 runt SMHI's mätstation i Lund, Skåne. Beräkningarna presenteras som ett markvattensaldo där regn blir insättning och evapotranspirationen (summan av växternas och markens utandning) uttag, balansen på detta konto är s.k. markfukt. Arbetet fokusera på hur stort vattenunderskottet är och om det kan antagas att vatten underskottet är så stort att det råder vattenbrist på odlingsarealen. Metoden för detta kallas för riskanalys stege och resultatet av beräkningarna är avsedda att användas som underlag för riskbedömning för vattenunderskott i fält och val av kulturåtgärder för att begränsa skadeverkningar av en eventuellt maktdeficit.

B.1 Riska analys stege

1. Evaporationen(avdunstningen) beräknas med modellen $E_0 = 0.19 (20 + T)^2 (1 - R)$ (Cheng och Cheng, 1980)
2. Markvattenunderskottet bedöm efter att nederbörd och evaporation jämförs.
3. Grödans transpirations nivå bestäms utifrån markvattenbalansen.
4. Beräkningar av vattenförbrukningen sker baserade på steg 2 och 3
5. Markfukten i Lund Beskrivs med hjälp av grafiska hjälpmedel.

1. Evaporationen

För beräkningar av avdunstningsförhållandet använder man sig traditionellt av Penman metoden (1963) eller Johnsson(1970b). I detta arbete används Cheng och Cheng (1980) empiriska formeln ($E_0 = 0.19 (20 + T)^2 (1 - R)$). Fördelen med denna ekvation är enkelheten och att modellen går att tillämpa i olika skalor på meso, micro och makroperspektiv. Modellen analysera markfuktens villkor, men tar inte hänsyn till säsongbetonade variationer av nederbörden eller ytavrinning i samband med nederbörd(Cheng och Cheng 1980). I ekvationen är E_0 den potentiell avdunstning i millimeter per ytenhet (mm), T är genomsnittligtemperatur i grader Celsius ($^{\circ}C$) och r luftfuktighet i procent omvandlat till decimaltal.

2. Markvattenbalansen(markvattenunderskottet)

Markvattenmagasinet är ett mått på hur fuktig marken är från ytan ner till grundvattnet, magasinets storlek påverkas av jordtyp, växtbestånd och klimatet. Det finns flera beräkningsmetoder för bedömning av markmagasinets storlek, till exempel temperaturlagens metoder, vattenbalans metoder, mätning med evaporationsmätare och användning av empiriska ekvationer är några av dessa metoder. Storleken på markvattenmagasinet varierar mellan fältkapaciteten och vissningsgränsen. Vid fältkapaciteten kan inte marken hålla mer vatten utan överskottet rinner vidare. När vissningsgränsen är nådd är vattnet så hårt bundet i marken att det inte längre är tillgängligt för växterna. I steg 1 räknades evaporationen från en yta täckt av kort gräs och i steg 2 undersöks hur hårt knutet vattnet är i marken. När den avgående vattenången från mark och vegetation beräknats subtraheras detta med nederbörden och summan representerar markfuktens storlek vid detta tillfälle.

3. Grödans Transpirations nivå.

För att beräkna grödans vattenförbrukning analyseras först markvattenunderskottet för att skapa en bild över hur mycket vatten som finns tillgängligt för plantans rötter.

Transpirationen hos en gröda avtar i regel om vattenunderskottet är stort eller marken buffrande förmåga låg (Linner 1984). Geografiska variationer i mikroklimatet kommer också påverka växtens transpirationsnivå. Transpirations nivå skiljer sig mellan växtfamiljer och i vilken tillväxt och utvecklingsfas grödan är. I Cheng och Cheng (1980) modell för beräkning av evaporationen beräknas detta på en yta som är täckt med kort, grönt, växande bestånd och är välförsörjt med vatten. I steg 3 bearbetas denna information genom att använda en empirisk faktor vilka kommer att påverka evapotranspirationen.

4. Beräkningar av vattenförbrukningen

Vattenförbrukningen är summan av transpiration och jordandningen (evaporationen). Markens aktuella evapotranspirationen fastställs i modellen $ET_a = K \cdot E_p$ (Linner 1984).

5. Beskrivning av markfukt

I studien framgår det av materialet att det under maj månad är störst underskottet, därför bör slutet av april och maj månad vara intressantast ur ett deficiert perspektiv. Materialet presenteras mest i grafer då datan som sammanställts är löpande och därför ska tolkas som trender och inte absoluta värden.

6. Klimatförändringen

Då arbetet använder sig av modeller för experimentell data analys passar detta utmärkt för att prova hur två olika klimatscenarier påverkar potentiell markfukt på provplatsen. När temperaturen stiger kommer detta att påverka luftfuktigheten i vilken utsträckning detta sker vet man inte. Jag har gjort antagandet att luftfuktigheten kommer att minska när temperaturen stiger ett antagande som förekommer ofta i relevant litteratur.

C. Material

Fältstudier

SMHI:s mätstation i Lund, Skåne är placerad ca en mil från närmaste kust, mikroklimatet här är torrare och någon grad varmare än övriga Sverige med undantag av sommarmånaderna än (SMHI,2014). För ett normalt år ligger nederbörd i intervallen 500-1000 mm i Lund och temperaturer runt 15-17 grader under juli månad. Det år som får representerar ett normalt år i arbetet har valts ut genom att Lunds klimatdata har granskats och sammanställts i månadsvärden. Dessa månadsvärden har sedan manuellt räknats samman och presenterade årsvis i tabell 1. I grafer och tabell undersöks medeltemperatur och nederbörd med mätvärden från Lunds mätstation. Resultatet presenteras i tabell 1 och är en av hörnstenarna i denna undersökning av atmosfärens påverkan på markfukten med Lund som exempel.

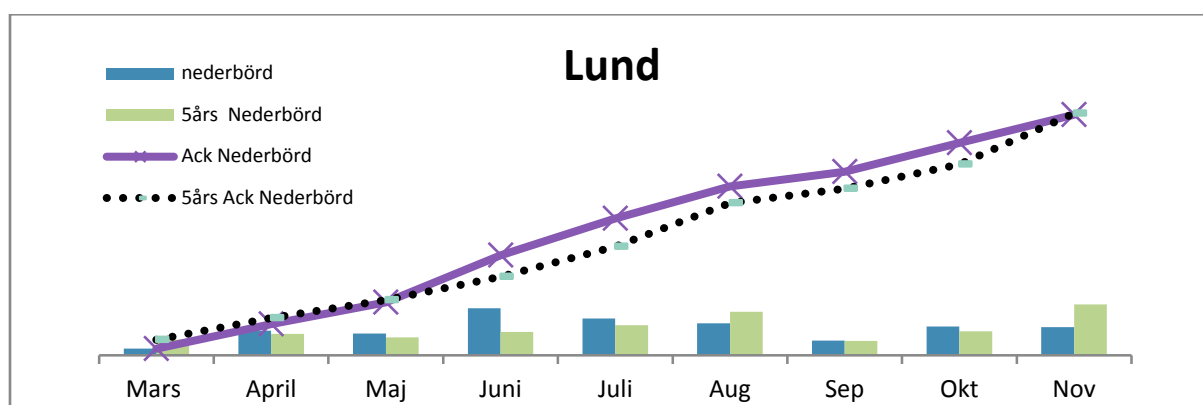
Tabellen 1 Nederbörd, medel temperatur samt luftfuktighet uppmätt i Lund perioden 2008 – 2012, år 2012 är rödmakerad och är det år som kommer att undersökas i denna rapport. År 2012 är det år vars uppmätta värden på nederbörd och temperatur ligger närmast genomsnittsvärdena för 5 årsperioden. Väderdata kommer från LantMet*

Lund ÅR	M Temp	Luftfukt %	Nederbörd	ack Nederbörd
2012	8,5	80,5	74,9	897,3
2011	8,2	87,4	129,8	1558,0
2010	7,0	82,1	59,3	726,9
2009	8,7	80,8	50,2	602,1
2008	9,4	78,5	60,8	729,6
5 år medel	8,3	81,9	75,0	902,8

*LantMet = samarbete mellan SLUs avdelning för experimentell forskning, Hushållssällskapen, Jordbruksverket, Landsmännen och Sveriges metrologiska institut SMHI.

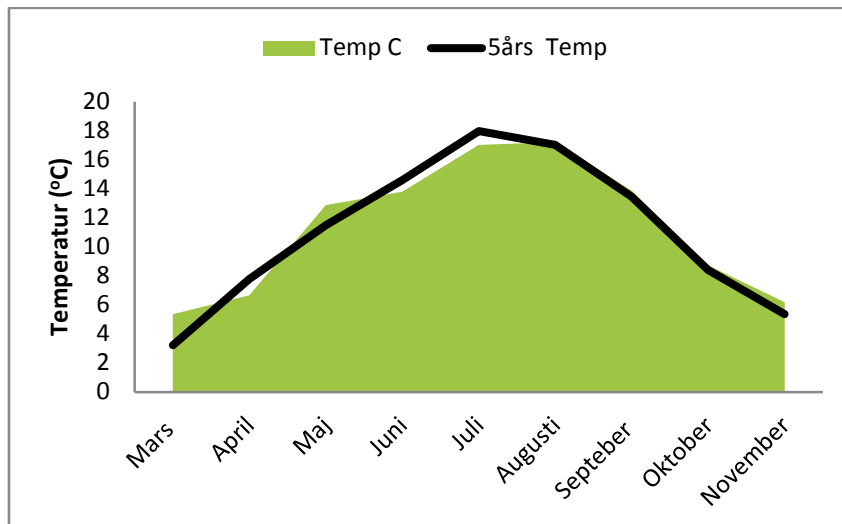
År 2012 är endast 0,2 grader varmare än medelvärde, Skillnaden i luftfukt 1,4 % och nederbörden 0,1mm på årsbasis

Grafen i figur 2 visar hur nederbörden varierade i Lund under 2012. Datamaterialet för den ackumulerade genomsnittliga nederbörden för år 2008 till 2012 är en punktad linje i grafen. Under år 2012 ackumuleras det mer regn under månaderna maj till juli, där efter är hösten ganska torr i regionen sett i ett 5 års perspektiv.



Figur 2 Läst ur grafen: I juni 2012 regnade det mer i Lund i förhållande till den genomsnittliga nederbörden de senaste 5 åren, medan i augusti var det omvänt.

I Sverige råder vinterklimat och därför begränsar sig odlingssäsongen till mars-november. Det gröna området i grafen är genomsnittliga temperaturen i lund. I början av växtsäsongen är temperaturen några grader varmare år 2012.



Figur 3 visar Lunds månadstemperatur under 2012 och genomsnittet under det senaste 5 åren

D. Litteratur undersökning

D.1.1 Klimat

Thornthwaites klimat klassificeringsmodell.

Thornthwaite lanserade evaporations begrepp (Bogen et al. 1999) som tillsammans med den faktiskt nederbörden ligger till grund för hans modell av olika klimattyper. Genom att omsätta tillgänglig energi (instrålning) till begreppet potentiell avdunstning (evaporation) och jämföra detta med faktisk avdunstning och nederbörd får man en bra bild över hur markvattenbalansen förhåller sig. Med hjälp av vattenförhållandet i marken delas klimatet i fuktigt klimat (humida klimat) eller i torrt klimat(arida klimat). Klimatbeskrivning görs i olika skalor: makroklimat, mesoklimat och mikroklimat. Om man ska undersöka klimatets påverkan på vattenbalansen i ett odlingslandskap är det oftast på mesonivån, här finns data om årsnederbörd, avdunstning, luftfuktighet etc. Metrologiska data sammanställs i rapporter oftast på månadsbasis (Bogren et al. 1999).

Mikroklimatet är kopplat till regionens topografi och markförhållande på platsen, skillnaderna här är snabba svängningar med timmar som mellanrum. I meso och makroklimatet är tidsskillnaden stor och ofta innefattar parametrar som sträcker sig över år och är förknippade med regelbundenhet t.ex. vindriktning och i vilka väderstreck olika luftmassor rör sig.

D.1.2. Instrålning

När solens strålar träffar jorden har de först penetrerat atmosfären och avgett stora mängder värmestrålning. Energin från solen omsätts i tre olika former: kemisk energi, rörelse(kinetisk)energi och värme (Clapham 1973). På Sveriges metrologiska institutions(SMHI 2014) hemsida finns detaljerade grafer och sammanställningar hur stor instrålningen över Sverige är.

D.1.3 Temperatur

För att kunna definiera en rörelse använder man sig av begreppet energi dvs. för att en massa ska kunna röra sig krävs energi. Rörelseenergin finns i massans atomer och dessa mäts med parametern temperatur. Om en massa har hög temperatur är massan benägen att röra sig. Då luftmassans temperatur förändras uppstår rörelser i atmosfären, vilket i sin tur utvecklar rörelser som fortplantar sig i omgivande luft- och vattenmassor. Lufttemperaturen kan sägas utgöra ett mått på atmosfärens energiinnehåll(Bogren et al. 1999). Temperatur tillsammans med vatten är två av klimatets viktigaste parametrar som går att mäta (Clapham 1973).

D.1.4 Nederbörd

Nederbörden reglerar växtligheten på jorden (Clapham 1973) och förekommer i många olika former exempelvis regn, snö och hagel. Tre huvudsakliga faktorer finns vilka leder till nederbörd: orografisk nederbörd bildas när ett luftpack hävs mot ett höjdparti d.v.s. när luftpaketet stöter emot ett topografiskt hinder som t.ex. en bergsrygg. Front nederbörd bildas när ett relativt varmare luftpack hävs mot en kallare och tyngre luftmassa. Konvektiv nederbörd bildas vid hävning som uppstår till följd av att marknära luft är varmare och lättare än överlagrad luft (Bogren et al. 1999)

D.1.5 Luftens fuktighet

Vattenånga är utan tvekan den viktigaste beståndsdel av atmosfären. Koncentration av vattenånga kan beskrivas som massans vattenånga per massa torrluft. Hur många procent atmosfären innehåller varierar med temperaturen, då temperaturen styr hur mycket vatten som kan "lagras" in i luften. Områdena kring ekvatorn har höga nivåer av fuktig luft medan kring polerna är nivåerna betydligt lägre (Clapham 1973). Detta avspeglas tydligt i markvegetationen och kännetecknar deras respektive klimat.

D.1.6 Absolut och Relativ luftfuktighet

Absolut fuktighet är ett mått på hur mycket vatten luften vid en viss temperatur kan innehålla (Bogren et al. 1999). Relativ luftfuktighet (rf) är mått på skillnaden mellan den absoluta fuktigheten och den aktuella fuktigheten vid en viss temperatur.

D.2 Biologiska grunder

Via växtens transpiration transporteras markvattnet upp genom växten, innan det förångas och diffunderar ut till atmosfären via klyvöppningarna. Vid markavdunstning förångas markvattnet ut i atmosfären - utan att först passera genom växten. Därmed får växten ingen som helst nytta av det markvatten som transportör eller kylmedel (Eggersten 2005).

D.2.1 Transpiration

Clapham (1973) liknar plantans transpirationsström vid en slang som leder vattnet i marken via rötterna upp till bladen för att sedan övergå till vattenånga via klyvöppningarna på bladens undersida.

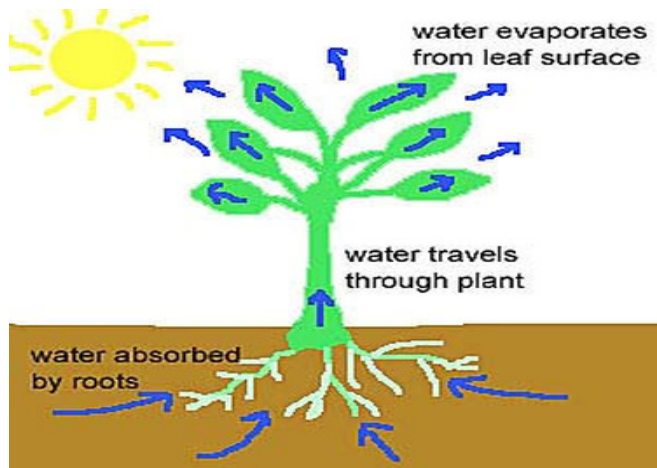


Fig. 4 Schematisk bild över evaporationen. Källa: <http://biomania.weebly.com/uploads/6/4/3/8/6438200/640987047.jpg>

Solens strålar värmer bladets yta vilket får vattnet att övergå till vattenånga, när detta sker skapas ett undertryck i vattenpelaren som är inrymd i växtens kärl och nytt vatten dras upp i växten. För att en planta ska uppnå maximal avkastning måste transpirationen vara på en optimal nivå under hela odlingsäsongen. När vatten tas upp genom roten följer vittrande mineraler och näringsämnen med upp i plantan, för att klara detta har plantorna två "lyft" mekanismer: långsamt passivt upptag genom osmos och aktivt upptag genom transpiration med hög hastighet där relationen mark, växt och atmosfär är aktivt (Kramer och Boyle, 1995). Vanligast orsaken till en växts död är brist på tillgängligt vatten, utan vattnet avstannar transpirationsström i plantan och dess klyvöppningar stänger. När detta sker minskar plantans luftombyten och koldioxidhalten i växten ökar, i och med ökad koldioxidhalt accelererar senescensen och nedbrytningen i växten leder till dess död. Detta samband gör att transpirationen troligtvis är den viktigaste klimatologiska faktorn man kan isolera (Rockström 1992). För att bedöma kulturers behov av vatten måste man veta i vilken biologisk mognad växten är. I olika tillväxt och utvecklingsfaser kan transpirationens nivå bestämmas med en empirisk faktor K, se figur 5. I FAOs databaser finns förteckningar över olika gröders transpirationsfaser utifrån morfologiska kännetecken och klimatologiska förutsättningar.

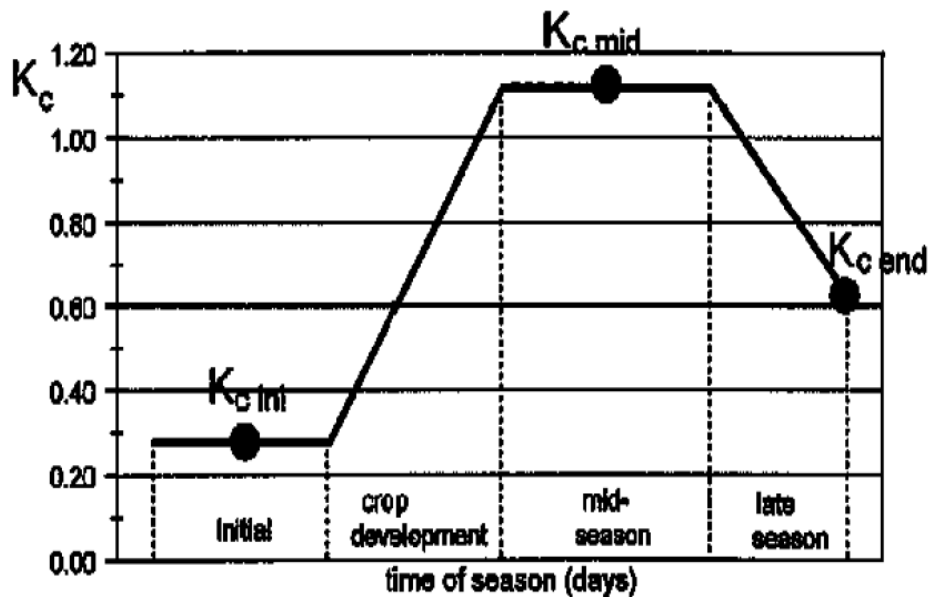


Fig.5 Diagrammet från FAO's rapport nr 56 ger en generell bild över hur en plantas transpirations nivå varierar under des biologiska liv.

D.2.2 Evaporation, avdunstning

När vatten övergår från vätska till gas sker detta genom avdunstning (evaporation) (Bogren et al. 1999) från land, vatten eller djurens ytor (Clapham 1973) undan taget är när avdunstningens sker från växtmaterial, då detta kallas för transpiration. Med hjälp av evaporationsbegrepp kan vattnet i mark-växt-atmosfär beskrivas på ett enhetligt sätt (Linner 1984)

E. RESULTAT

E.1 Riskanalytstegen

1. Evaporationen (avdunstningen) beräknas med modellen

$$E_0 = 0.19 (20 + T)^2 (1 - R)$$

2. Markvattenunderskottet bedöms
3. Grödans transpirations nivå bestäms
4. Beräkningar av vattenförbrukningen
5. Beskrivning av markfukten i Lund och risken för fuktdeficit.

1. Evaporationen

Bearbetad klimatdata från Lund presenteras i tabell 2. Tabellen är konstruerad för att underlätta arbetet med Cheng och Cheng (1989) ekvation. Genom att steg för steg filtrera mätvärdena summeras evaporationen i den vänstra kolumnen.

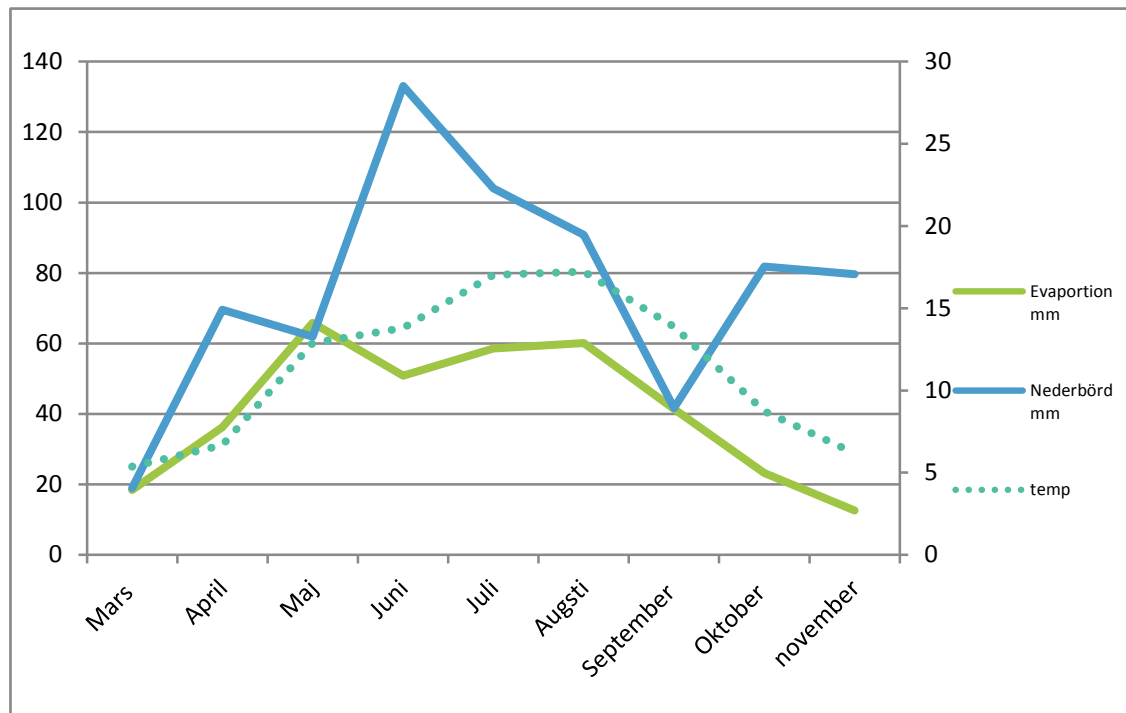
Tabell 2 Väderdata och uträkningar av evaporationen och markvattensaldot.

Månad	Temp	Luftfuktighet	Nederbörd	Ack	steg 1	steg 2	steg 3	steg 3	steg 4	Evaporation(E_p) i mm	Markvatten
	C	R	mm	Nederbörd	(20+Temp)	(20+T)2	(100-R)	(steg 2 * steg 3)	(Steg 3*0,19)	per månad (30 dagar)	saldot
Mars	5,4	85	19	19	25,4	645,2	0,15	97	18,4	18 mm	1 mm
April	6,7	73	69,6	88,6	26,7	711,1	0,27	191	36,2	36 mm	34 mm
Maj	12,9	68	61,9	150,5	32,9	1081,1	0,32	346	65,8	66 mm	30 mm
Juni	13,8	77	133,1	283,6	33,8	1142,9	0,23	267	50,8	51 mm	112 mm
Juli	17,0	78	104	387,6	37,0	1371,6	0,22	308	58,6	59 mm	158 mm
Augusti	17,2	77	90,8	478,4	37,2	1385,0	0,23	317	60,2	60 mm	188 mm
September	13,9	81	41,7	520,1	33,9	1147,6	0,19	218	41,4	41 mm	189 mm
Oktober	8,7	85	81,8	601,9	28,7	825,4	0,15	122	23,2	23 mm	247 mm
November	6,2	90	79,7	681,6	26,2	686,1	0,10	66	12,6	13 mm	314 mm
	Ack nederbörd-Evaporation			681,6						367 mm	314 mm

I tabellen 2 beräknas evaporationen E_p och markvattensaldot månadsvis med klimatdata från Lantmet. Ex. maj månads evaporation(E_p) subtraheras med summan av april månads markvattensaldo plus nederbörden under majmånaden, d.v.s. $(34+62)-66=30\text{mm}$

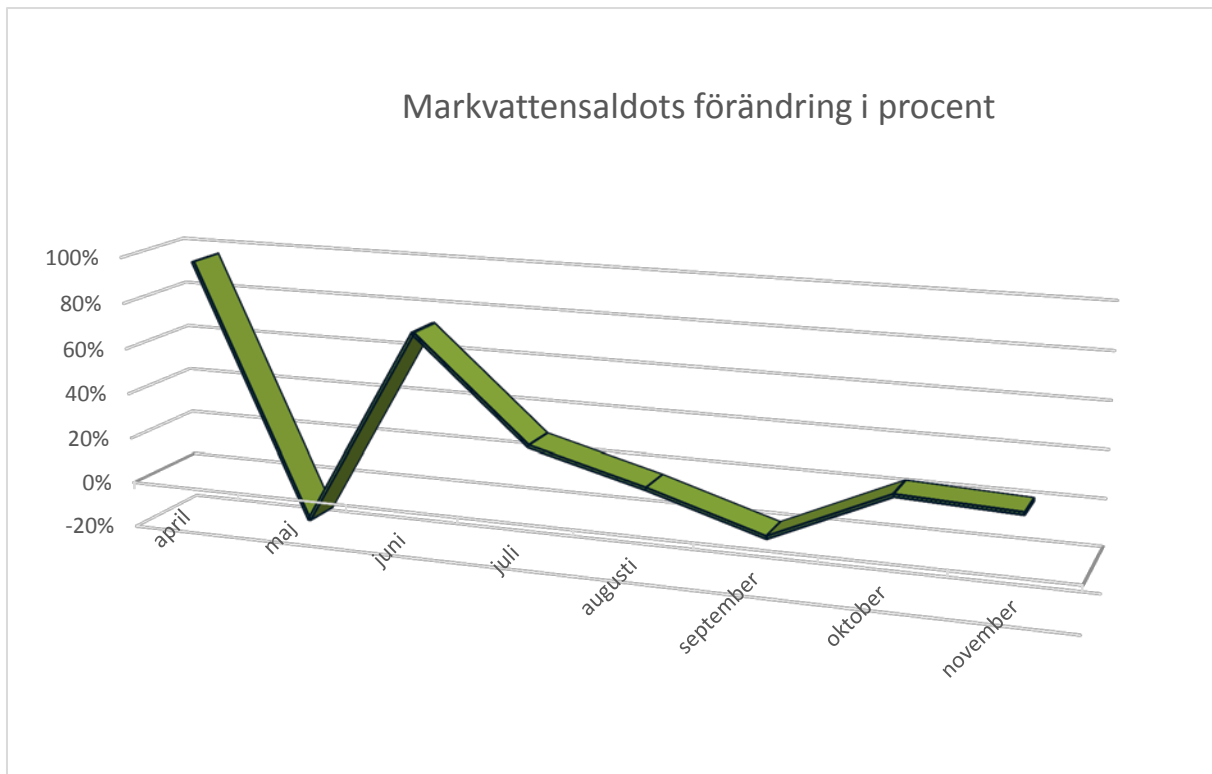
2. Markvattenbalansen

Under säsongen 2012 har markvattenbalansen kritisk låga nivåer vid två tillfällen.



Figur 6 Sammanställning av nederbörd och evaporation. I diagrammet ser man även temperaturen under odlings säsongen. Under juni, juli och August faller ca 48 % av periodens totala nederbörd.

Efter nederbörden i april sker en ökning av evaporationen i samband med att temperaturen ökar. Under början av våren råder det balans på i vattenmagasinen medan i senare delen av maj var det hyfsat torrt i marken och vattnet ganska svårtillgängligt. Under senare delen av sommaren är växternas tillväxt och utveckling stor och transpirationsnivå hög. Trenden i figur 6 visar att marginalerna blir mindre och mindre ju längre säsongen sträcker sig.



Figur 7. I modellen för riskanalys för fuktdeficit skapas ett markvattenkonto. På detta konto är nederbörd insättning och evaporation uttag. Grafen visar förändringen i % på detta markvattenkonto. Under 2012 ökar potentiell markfukt bara under juni och oktober. I samband med häftig nederbörd avgår en del av vattnet som ytvatten detta tar modellen inte hänsyn till.

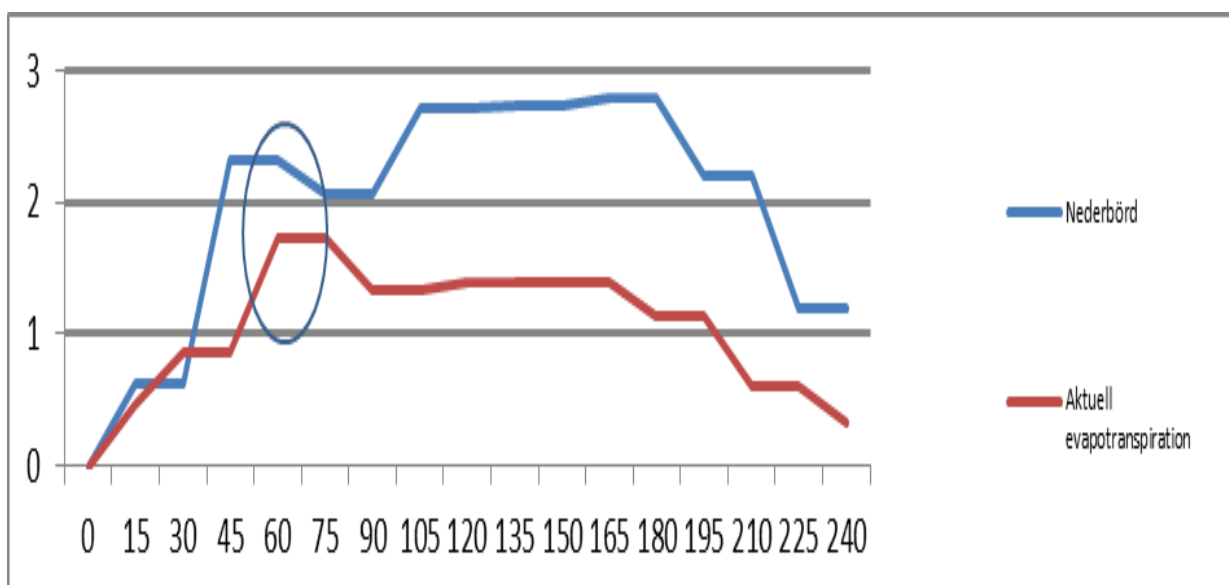
3. Transpiration faktor

Tillgängligheten på färskvattnet varierar med vattenunderskottets storlek och för att kunna avgöra hur stor en grödans ångkapacitet (grönvatten) är bedöms den biologisk mognad (växtens tillväxt och utveckling) i förhållande till klimat och markvattenbalans. Denna uppskattning blir ett empiriskt värde kallat Faktor K. För detaljerade riskanalys kan faktorn K ersättas med transpirationskoefficient K_c vilken finns beskrivet (Allan et al. 1989) och anta olika värden beroende bl.a. på grödans utvecklingsstadier, säsongsvariationer, m.m. I denna redovisning kommer K att ta värdet av 0,8 i mars, maj, juni, juli och september till november då ingen större torka råder i fältet som undersöks. I april, augusti och september är markvattenunderskottet större och faktor K minskar till 0,7.

4. Bedömning av vattenförbrukningen

$$ET_a = K \cdot E_p$$

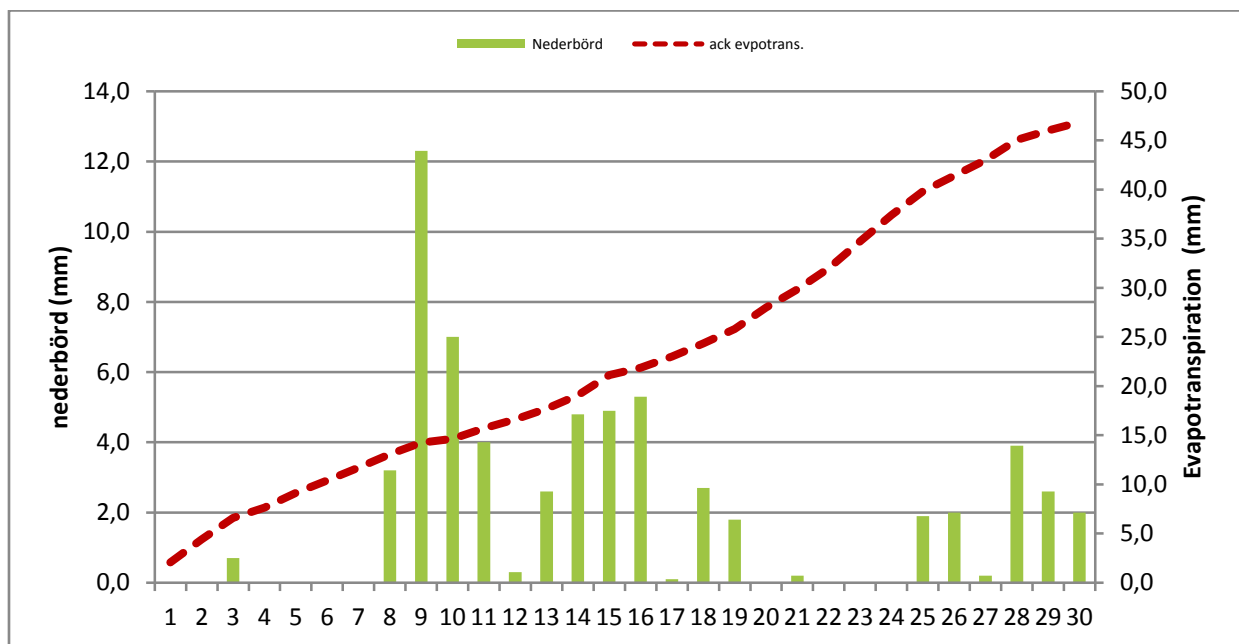
Den beräknade markfuktigheten förs in i ett diagram vilket ger en god överblick av markvattenförrådets förändringar. Det måste noteras att dessa beräkningar är baserade på antaganden att markens fukt är tillfredsställande, jordmånen är hög med en lönegrad på minst 2,25 t per hektar (Chen et al. 2002). I diagrammet, figur 8, är månaderna utbyt mot dagar i numerisk ordning. I diagrammet går att utläsa att först efter dag 100 blir vattenpotentialen optimal. Den nederbörden som faller kring dag 40 bidrar till ökad tillgänglighet av fritt vatten (blåvatten). Troligtvis kommer det mesta av nederbörden att rinna bort som ytvatten. Skyfall av detta slag kan göra mer skada än nytta i en icke etablerad gröda om området saknar dränering eller om det är otillfredsställande. Optimalt är här om man har tillgång till regnvattenmagasin för fördröjning av infiltrerandet av vattnet. Mellan dag 60 och 90 är vattenunderskottet markant och det är val av gröda och eventuella kulturåtgärder som avgör hur vida detta är ett fält i balans eller om det råder torka i fältet.



Figur 8. Nederbörden under period var 682mm vilket har gett goda förutsättningar för hög transpiration. Då nederbörden kom ojämnt under säsongen undersöks eventuella höga vattenunderskotts närmare. Speciellt i majmånad(120-150) kan man se hur temperatur höjningen driver upp evapotranspirationen.

5. Beskrivning av markfukten i Lund och risken för fuktdeficit i majmånad, år 2012.

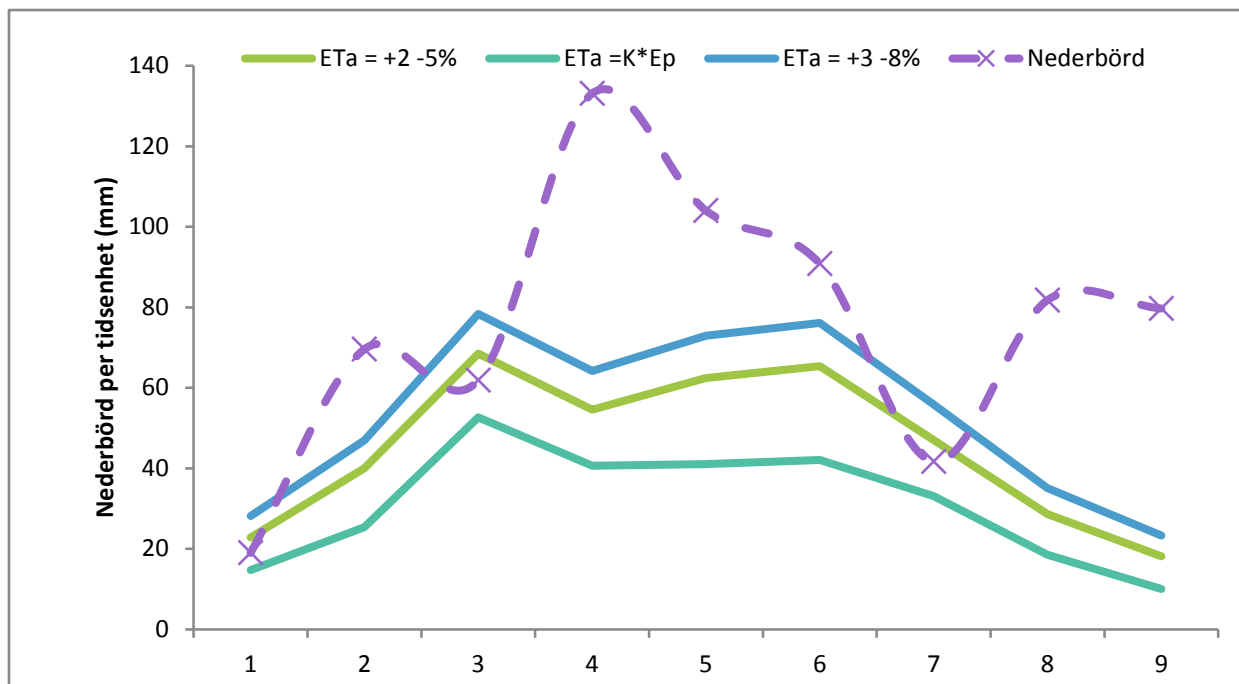
I och med att kännedom om markmagasinets buffrande förmåga saknas ser vi endast till hur nederbörd och evapotranspirationen påverkar villkoren för markfukten. Den potentiella evapotranspirationen ökar i senare delen av månaden som en effekt av temperaturökning i maj. Det är en rimlig bedömning att en stor del av nederbörden mellan den 8 och 11 maj har avgått som ytvatten i och med att markens fältkapacitet uppnåtts, samma bör gälla den nederbörd som föll mellan den 13 och 16 maj.



Figur 9 I diagrammet görs en risk bedömning av markfukts deficit i maj månad år 2012. Genom att analysera klimatparametrarna för nederbörd, ackumulerad evapotranspirationen under maj månad.

E.2 Genomförande

En experimentell modell av atmosfärens påverkan på markfukten med hänsyn till klimatförändringen.



Figur 10. I vänstra kanten är mm nederbörd per tidsenhet presenterad. I denna modell är nederbörden oförändrad medan temperatur och luftfuktighet är påverkat av klimatförändringen. Numreringen på X axeln är den tid som motsvarar ett skördeår där mars är månad 1 och siffran 9 november.

I diagrammet, figur 10, beskrivs två tänkbara klimat förändrings scenarier. Den ljusgröna linjen motsvarar temperaturökningen med 2 grader generellt för år 2012, och i detta scenarier minskar luftfuktigheten med 5 %. För att kunna göra en bra riskbedömning behövs datamaterialet bearbetas men med utgångspunkt av trendlinjen kompenserar inte nederbörden evapotranspirationen under det fyra första månaderna. Inte heller kommer nederbörden att räcka för att hålla vattenbalansen optimal under hösten. Den blå linjen visar en temperatur höjning med 3 grader och 8 % minder luftfukt. Nederbörden påverkas inte i scenarier utan förväntas att vara samma.

F. DISKUSSIONEN

I diskussionen lyfts frågeställningar om vad man ska tänka på och ta hänsyn till i utformningen av ett watermanagement. Utgångspunkten är hållbar utveckling och liksom övriga arbetet är det främst regn-bevattnat jordbruk som behandlas. Riskbedömningen i tidigare avsnitt ger en indikation att på platsen där SMHI's mätstation i Lund är placerad kan det förekomma risk för fuktdeficit under vissa tider på året. Utan kännedom om mikroklimatet och markens sammansättning är det omöjligt att bedöma vattenunderskottets storlek. Men att fukten är mycket hårt knuten till marken och tillgängligheten för växterna blir därmed begränsad går att utläsa ur uträkningarna.

Klimatparametern

Det som i resultatdelen beskrivs som vattenunderskott beror på förhållandet mellan växt-jord-atmosfär. Vattenunderskottets storlek mäts i mm, medan markdeficiten blir hur stor del i procent (%) av markvattnet som evaporerat (Bray 1997). Enligt Evan och Sandler (2007) kan ett vist mått av vattendeficit förekomma i fält utan att detta påverkar grödan skadligt. Det ska dock understrykas att försöken i deras arbete var konstbevattnade grödor och efter grödorna utsatts för torkstress med vattenunderskott på 10-30% av fältkapaciteten vattnades grödan upp till 100 %. Att sätta generell lägsta nivåer för vatteninnehållet i marken går inte, men om 50 % eller mer av markvattnet tillfället eller på längre sikt avgår uppstår en brist situation (Abubaker 2009). När rötterna inte kan ta del av markvattnet längre har vissningsgränsen uppnåtts. I det övre jordlagret fortsätter avdunstning från markytan till den biologiska vissningsgränsen (Johansson 1989). Thorn (2000) understryker svårigheten att både simulera och mäta vattenbalansen då den påverkas av både ytans karaktär och växtlighet. I ett odlingsperspektiv blir det viktigare att känna till hur mycket vatten som generellt evaporera och att sedan förhålla sig till detta i sin planering.

Substratparametern

Då marken upplever en brist situation kommer en kedja av negativa händelser att utlösas, denna kedja av händelser är den underjordisk del av det hydrologiska kretsloppet. Ekosystemtjänster som sätts i samband med markvatteninnehållets storlek delas här upp i tre sektorer, kemiska, fysiska och biologiska reaktioner (Baidierocchi et al. 2004).

När markdeficiten ökar får markvattnet det svårare att röra sig, kohesionskraften ökar vilket påverkar den biologiska vissningsgränsen och mikroorganismernas biofilmtillverkning runt jordpartiklarna minskar (Johansson 1989). Detta leder till lägre bioaktivitet i jorden med resulterar att bördigheten sjunker (Shock et al. 2007). Hur mycket av det livsbärande system som påverkas av vattenbristen beror till stor del på atmosfärens skiftningar (Linner 1989). Framför allt är det plantans biologiska mognad och rotsystemets storlek som påverkar hur stor skadan blir när vattnets sinar (Linner 1989). Skillnaden i markdeficit mellan jordtyper beror på markporernas utformning, en rad olika fysikalisk parametrar där bl.a. innehåll av organiskt material spelar här en stor roll(Hultberg 2009). På en sandigjord uppkommer torkstress vid 40 % medan på en jord med högre ler halt vid 60 % för ångning (Abubaker 2009).

Vattenmanagementparametern

I bedömningen av hur stort vattenunderskottet kan utan att en akut bristsituation uppstår skiljer sig två stor odlingssystem åt: konstbevattning vs regn-bevattnat jordbruk. I det konstbevattnade jordbruket är det i ett vattenmanagement program där man bedömer tidpunkt för bevattning och nyttan av investerad mängd vatten beräknas genom kubikmeter per skördad ton biomassa per kvadratmeter (Pascal et al. 2011, Wallace and Gregory 2002). Genom att jämföra med evapotranspirations data får man fram bevattningseffektivitet på engelska kallas detta water use efficiency (WUE) och ligger till grund för olika typer av vattensparande åtgärder. Jensen (2007) belyser att beräkningar på markvatten balansen vid konstbevattning måste ta med anrikningen av salter i marken, speciellt i länder med ett tort klimat. Att med konstbevattning matcha markvatten underskottetstorlek är enligt Jensen (2007) den största, svåraste och viktigaste uppgiften, beroende på hur substratet ser ut på plats appliceras rätt mängd vid rätt tidpunkt med rätt utrustning. Ett försök i Indien visade att med hjälp av metrologiska data, löpande registrering av markvattenbalansen samt okulär tolkning av vattenunderskottet kunde man på kort tid uppnå maximal skörd (Misha et al. 2001). I det regndrivna jordbruket är det substratets vattenbuffrande förmåga och regnens periodicitet som ligger till grund för en riskbedömning i vilken man uppskattar hur mycket tillgängligt vatten det finns (FAO 2002). Det regnbevattnade jordbruket står i dag för det största användandet av färskvatten i kommersiellt syfte och behovet att utveckla växtskyddsåtgärder och odlingssystemet är stort.

Förhållandet växt-atmosfär-jord gör vatten management i hållbart jordbruk extra komplicerat i och med klimatförändringen (Dodorico et al. 2010). Det är speciellt viktigt för det sydsvenska jordbruket att arbeta med kulturåtgärder för att kunna överbygga s.k. dry spells (kortare period med uteblivet regn) något som blivit vanligare i på den europeiska kontinenten. Skåne tillhör inte per definition den sub arida jordbruksområdet då det är nederbörds periodicitet som till stor del utgör grunden till denna definition. I takt med att vädret blir extremare kan nederbördsmönstret skifta kraftigt från ett år till ett annat. Detta ingen nyhet utan forskningen på nyteknik är stormen med studier i Eco-hydrologi hoppas man kunna ge ytterligare information om hur växterna och mikroorganismer reagerar på vattendeficit (Dodorico et al. 2010).

kulturåtgärder

Människan har under 1000-tals år utvecklat tekniker för att överbygga torrperioder. I odlarens verktygs låda för att öka produktiviteten av regnbevattnade jordbruket finns åtgärder för ökad infiltration av vatten till roten s.k. in situ eller vattenbevarande åtgärder. Insamlandet av regnvatten på obrukbar mark benämns som skördning av regn och är en in situ källa till vatten (FAO, 2002). Nederbörden som samlats in distribueras genom kanaler och mindre vattenvägar till odlingarna på bördig mark. När vattnet hålls kvar på odlingsplatsen genom vallning, såbäddar eller med terrass byggnad håller detta vattenbalansen optimal och förhindra markdeficit (FAO, 2002). I Sverige skulle lagring av nederbörd under höst och vintersäsongen vara en stor tillgång under torra sommarmånader. I dag är detta praxis i länder med monsun klimat som China, Indien, och i sub-sahara området (Rockström et al. 2009). Genom att öka grödans vattenupptag eller minska oproduktiv markeavportion (cover cropping) kan man också öka vattenproduktiviteten (skörd/mm regn per kvadratmeter) i regn-bevattnat jordbruk. Studier har visat att användandet av antitranspirationsmedel minska transpirationskraften, dock inte entydiga positivt, ekonomisk eller praktiskt försvarbart att använda (Evens och Sandle 2008). Med mekaniska hjälpmedel går det att öka jordens vattenhållande förmåga genom att bruka ner biologiskt material och därmed öka kohesionskraften i marken (Dodorico et al. 2010), här bör man dock vara försiktig i länder med monsun då risk för erosion ökar (Rockström et al. 2009).

Jämför man grönsaker etablerade med och utan halmtäckning minskar avdunstningen och markfuktigheten bevarades bättre i matjordens övre skikt. Även täckning med PVC-plast välprövat med bra resultat (Åvall, 1987; Aldrich m fl. 1978).

Felkällor

Det atmosfäriska skiftningarna är och kommer alltid att vara en prognos och bör därför tillämpas med stor försiktighet. Har man tillgång till jordens vattenbuffrande kapacitet går det att bättre beräkna markvatten saldot då den del av nederbörden vilken inte kan lagras i markprofilen rinner bort direkt. Att endast använda 5 år som underlag för att välja att genomsnitts år är för kort tid. Om man ska göra en grundlig undersökning om vilka hydrologiska förutsättningar en plats har bör undersökningstiden vara betydligt mycket längre.

SLUTSATSER

Resultatet av mina undersökningar visar på att man med enkla medel kan göra en riskbedömning av de atmosfäriska skiftningarna och hur detta påverkar markfuktens villkor. Vidare framkom det att det är jordens vattenhållande förmåga som är den buffert med vilken torrperioderna ska överbryggas, speciellt under månader med hög evapotranspiration och liten nederbörd.

Svårast i arbetet har varit att hitta en metod för beskrivning av markvattenbalansen. Jag vill gärna se mer svensk forskning om metoder för kalkylering av markvattenmagasinens fluktuering. Vidare skulle jag gärna se mer forskning på transpirationen och då främst hur vida det går att använda som tillväxtregulator och moderator för vattenförbrukningen. D.v.s. undersökning HUR man kan minska åtgången med vatten utan att kompromissa med kvalitet och skördad mängd. För att återknyta till växthus branschen i vilken utvecklingen för närvarande bor, har det skett en stor förändring det senaste årtionden. speciellt med nya tekniska hjälpmedel som sensorer, vågar, infraröda kameror övervakas vattnets väg genom substratet upp i plantan och ut i atmosfären.

Bara fantasin sätter gränser för vad som går att uppfinna.

Mathias Nilsson Rängsand 2015

REFERENSLISTA

- Abubaker. J 2009 Student assay. Irrigation scheduling for efficient water use in dry climates. Swedish University of Agricultural Sciences Department of Soil Sciences Division of Hydrotechnics
- Aldrich, S. R., Scott, W. O. & Leng, E. R. 1978. Modern corn production. 2:a uppl. Illinois
- Allan, R.G. Pereira, L.S. Raes, D. Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirement. Irr: Drainage Paper No 56 FAO United Nations, Rome
- Bastakoti, R.C. Shivakoti G. P. 2008, Community organizations in water resource governance: Rural-urban interface of irrigation management in Thailand School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology
- Bray, Elizabeth A. 1997 Plant responses to water deficit. Trends in Plant Science Volume 2, Issue 2, Pages 48–54
- Chen, D. Gao, G. Xu, C.Y. Guo, J. Ren, G. 2002. Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China, Regional Climate Group, Earth Sciences Centre, Gothenburg University, Sweden Renewable Energy Volume 25, Issue 2, Pages 267–280
- Cheng Tianwen och Cheng Weixin, 1980, "mätning och beräkning av fältet avdunstning och potentiella avdunstning, *Samlas in geografiska Papers*, Science Press, Beijing.
- Shock, Clinton C. Professor Erik B.G. Feibert, Lamont D. Saunders, Irrigation Criteria for Drip-irrigated Onions HortScience February 2000 vol. 35 no. 1 63-66
- D'Odorico, p. F. Laio, A. Porporato, L. Ridolfi, A. Rinaldo, I. Rodriguez-Iturbe 2010 Ecohydrology of Terrestrial Ecosystems. BioScience (2010) 60 (11): 898-907.
- Erpenbeck, J.M. 1982. Irrigation scheduling. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 127, 135 s.
- FAO (2002). Crops and drops. Making the best use of water for agriculture (FAO Rome)
- Falkenmark, M. 2000 Competing freshwater and ecological services in the river basin perspektiv: An expanded conceptual frame work. Water International 25(2):172-177
- Falkenmark, M. Rockström, J. 2003, Water cycle and people: Water for feeding humanity. Land use and water Resources Research 3 3.1-3.4
- Ebbersten, S. 2005, "Räcker maten?" – perspektiv på en komplex frågeställning Överläggningsämne den 10 februari 2005, Kungl Skogs- och Lantbruksakademien,
- Evens, G. J. Sadler, J. E. 2007, Methods and technologies to improve efficiency of water use. Water Resources Reserarch. Vol 44:2008Jensen, E. M. 2007, Beyond irrigation efficiency Irrig Sci(2007) 25:233-245.

Johansson, W. Grödornas vattenhushållning. Inst. för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, S- 750 07 Uppsala

Johansson, W. 1970b. Beräkning av potentiell evaporation med ledning av observerade eller skattade värden för insolation, vindhastighet och ångtrycksdeficit. Grundförbättring 23, s. 95-115.

Linner, H. 1984. MARKFUKTIGHETENS INFLYTANDE PÅ EVAPOTRANSPIRATION, TILLVÄXT, NÄRINGSUPPTAGNING, AVKASTNING OCH KVALITET HOS POTATIS (SOLANUM TUBEROSUM L.) Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 142.

Mishra, H.S., T.R. Rathore and U.S. Savita, 2001. Water use efficiency of irrigated winter maize under cool weather conditions of India. *Irri. Sci.*, 21: 27-33

Pascale, S. Costa, L. D. Vallone, S. Barbieri, G. Maggio, A. 2011, Increasing Water Use Efficiency in Vegetable Crop Production: From Plant to Irrigation Systems Efficiency Hort technology 2011 nr 21 : 301-311

Penman, H.L. 1963. Vegetation and hydrology. *Tech. Commun.-Commonw. Bur. Soils* 53.

Rockström, J. Karlberg, L. Wani, S.P. Barron J. Hartibu, N. Ovesi, T. Bruggerman, A. F. Arahani, J. Qiang, Z. 2009. Managing water in rainfed agriculture- The need for a paradigm shift, *Agricultural Water Management*. 97(2010) s 543-550

Rockström, J. 1992, Framtidens livsmedelsförsörjning i världens torra regioner-
pub.epsilon.slu.se

Rijsberman, F. R. 2004, Water Scarcity: Fact or Fiction? "New directions for a diverse planet". Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep – 1 Oct 2004, Brisbane, Australia

Rijsberman, F. R. Molden, D. 2001 Balancing Water uses: Water for Food And water for Nature. Thematic background paper. secretariat of the international conference on freshwater. Bonn 2001

SCB, Jordbruksstatistisk årsbok 2011 Enheten för lantbruksstatistik, Örebro

Shiklomanov, L.A. 1999, World Water Resources: An Appraisal for the 21st Century. IHP Report. UNESCO, Paris

Shivakoti, G.P. Bastakoti, R. C. 2006, The robustness of Montane irrigation systems of Thailand in a dynamic human–water resources interface *Journal of Institutional Economics* (2006), 2: 2, 227–247 Printed in the United Kingdom
CThe JOIE Foundation 2006

Thern, J. 2000. Markvattenhalt och Temperatur i Sandig Jordbruksmark Vid Ilstorp, Centrala Skåne- En Mätning- Och Modelleringsstudie. Lunds Universitets Naturgeografiska Institutionens Seminarieuppsatser Nr. 68

Wallace, J. S. Gregory, P. J. 2002 Water resources and their use in food production system. *Aquat. Sci.*(2002) 363-375

Åvall,H.1987. Sockermajs. Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp. Konsulentavdelningens rapporter. Trädgård 31

Böcker

Bogren, J Gustavsson, T Loman, G 1999. Klimatologi, meteorologi . Studentlitteratur,

Clapman, W.P. 1983. Natural ecosystems 1983. Elsevier.

Kramer P.L. och J.S. Boyer Water Relations Of Plants And Soil 1995 Academic Press

Hemsidor

SOU 2007:60 Utgiven:1 oktober 2007 Statens offentliga utredningar (SOU). Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter

SMHI <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/stralning>

IWMI (2000). World Water Supply and Demand in 2025. In: FR Rijsberman, ed. World Water Scenario Analyses. (World Water Council, Marseille).

Personlig kontakt

Malin hultberg 2012