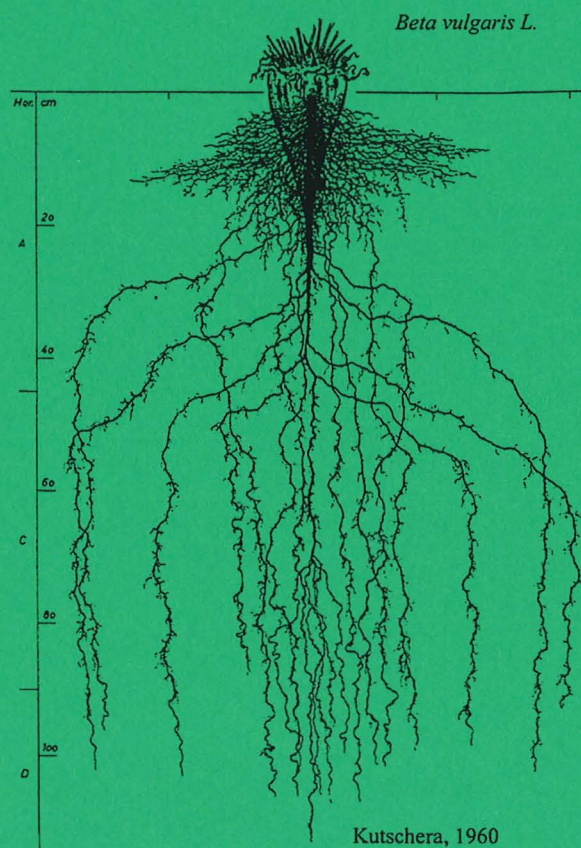


# Markstruktur och markvattentillgång – begränsande faktorer i svensk sockerbetsodling

Kerstin Berglund



Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics

Avdelningsmeddelande 03:3  
Communications

Uppsala 2003

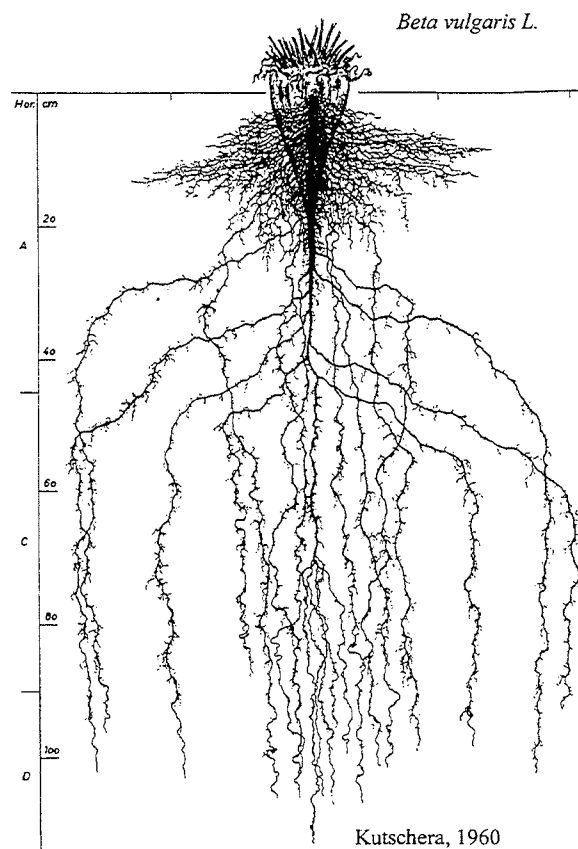
ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--03/3--SE



# Markstruktur och markvattentillgång – begränsande faktorer i svensk sockerbetsodling

Kerstin Berglund



---

Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics

Avdelningsmeddelande 03:3  
Communications

Uppsala 2003

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--03/3--SE

---



## Förord

Studierna inom projektet ”Markstruktur och markvattentillgång – begränsande faktorer i svensk sockerbetsproduktion?” startade 1999 som en fristående del av 4T-projektet som genomfördes åren 1997-2000. Bakom starten av projekt 4T låg signalerna om att den svenska sockerskörden halkar efter vid jämförelse med andra sockerbetsodlande länder i Europa. Det var framför allt två problemområden, den dåliga skördeutvecklingen och den höga skördevariationen mellan lantbrukare inom en och samma trakt, som ledde fram till projektstarten. Syftet med den här redovisade undersökningen var att analysera markstrukturens och vattenfaktorns betydelse för grödetablering, tillväxt och skördeutbyte i sockerbetsodlingen.

Fältmätningarna genomfördes huvudsakligen under odlingssäsongerna 1999 och 2000. Laboratorieundersökningar, modellkörningar samt övrig bearbetning av data gjordes huvudsakligen under 2001-2003.

Jag vill ta tillfället i akt och tacka alla som hjälpt till med mätningar både i fält och på laboratoriet och dessutom kommit med värdefulla kommentarer. Ett speciellt tack till Agronom Örjan Berglund som bistått med beräkningar i markvattenmodellen och bearbetning av klimatdata samt Anna Gustafson Bjureus som hjälpt till med insamlandet av data och beräkningar i markstrukturindex. Ni har alla varit till ovärderlig hjälp och det har varit ett sant nöje att arbeta tillsammans i projektet.

Projektet har finansierats av Stiftelsen Lantbruksforskning.

Uppsala 030627

Kerstin Berglund  
Projektledare



# INNEHÅLL

<b>REFERAT</b>	7
<b>ABSTRACT</b>	8
<b>SYFTE</b>	9
<b>BAKGRUND</b>	9
<b>MATERIAL OCH METODER</b>	10
<b>Provplatser</b>	10
<b>Metoder</b>	10
Fysikaliska analyser	10
Klimatdata	10
Fältmätningar	11
Beräkning av markvattenbudget	11
Markstrukturindex	11
Skörd	11
<b>RESULTAT OCH DISKUSSION</b>	12
<b>Skördeutfall på pargårdarna</b>	12
<b>Markstruktur</b>	13
Markstrukturindex	13
Odlingssystemindex för pargårdarna	14
Odlingssystemindex för par 3	14
Simulering med mindre betupptagare	15
Generella resultat	15
Jämförelse med markfysikaliska undersökningar	16
<b>Vattenfaktorn</b>	17
Årsmånen	17
Markvattnets tillgänglighet för växterna	21
Grödans uppkomst och vattenfaktorn	22
Grödans utnyttjande av markvattnet	23
Grödans tillväxt och vattenfaktorn	29
<b>SAMMANFATTANDE SLUTSATSER</b>	31
<b>REFERENSER</b>	31





## REFERAT

Syftet med undersökningen var att analysera markstrukturens och vattenfaktorns betydelse för grödetablering, tillväxt och skördeutbyte i sockerbetsodlingen. Studierna startade 1999 som en del av 4T-projektet som genomfördes åren 1997-2000. Skördeskillnader mellan gårdar med liknande förutsättningar i jord och klimat, men med olika skördenivåer, var incitamentet för en parstudie inom 4T-projektet. I parstudien var gårdarna indelade parvis i sammanlagt sju par. En av gårdarna i paret hade historiskt höga skördenivåer och kallades plusgård. Granngården hade normala skörderesultat kring sockerbrukets medelskörd och kallades därför medelgård. Studierna i den här undersökningen har utförts inom parstudien.

Markstrukturen bedömdes med hjälp av ett markstrukturindex och markfysikaliska analyser. Markstrukturindex är en metod att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen. Markvattentillgången bedömdes med hjälp av beräkningar med en enkel markvattenmodell, vattenhaltsmätningar i fält och markfysikaliska analyser.

Undersökningarna visade att skörden genomgående var högre på plusgården jämfört med medelgården under 1999 och 2000 utom i par 4 där medelgården hade en högre skördenivå båda åren.

Beräkningarna i markstrukturindexet visade att

- brukaren kan påverka markstrukturen med sina åtgärder,
- i huvuddelen av paret hade plusgården ett högre odlingssystemindex än medelgården,
- plusgården i paret uppvisade i regel bättre markstruktur även enligt de markfysikaliska mätningarna (t.ex. vertikal infiltrationsförmåga).

I huvuddelen av paret hade gården med högre skörd

- en jord med ett större markvattenförråd med för växterna lättillgängligt vatten än gården med lägre skörd,
- en gröda med ett bättre utvecklat rotsystem som kunde utnyttja en större andel av markvattenförrådet i både matjorden och alven,
- en gröda som förmådde utnyttja tillväxtpotentialen bättre,
- en tendens till snabbare uppkomst av grödan när tillgången på mycket lättillgängligt vatten var god i matjorden.

En god markstruktur med en stor andel lättillgängligt vatten möjliggjorde en snabb etablering av grödan, en god rotutveckling och ett bra markvattenutnyttjande som skapade förutsättningar för en hög skörd.

## ABSTRACT

The main purpose of the project was to analyze the importance of soil structure and soil water supply for crop establishment, crop development and yield levels in sugar beet production. The studies started in 1999 as part of the 4T project (sugar beet research project) which started already in 1997 and ended in 2000. A difference in yield levels between neighboring farms with similar basic conditions (soil, climate) was the main reason to start the “pair study” within the 4T project. In the pair study 14 farms were divided into 7 pairs where one farm in each pair had very high yield levels and was called “plus farm” and the neighboring farm had normal yield levels for the area and was called “average farm”. The studies in this project have been a part of the pair study.

The soil structure was evaluated with a soil structure index and soil physical measurements. Soil structure index is a method to evaluate the physical status of the soil and the effect of the farming system on soil structure. The index consists of three parts. One part where basic soil physical requirements are checked, a farming system part where yearly measures by the farmer are evaluated and finally a soil structure field test. The soil water supply was evaluated with the help of a simple soil water model, soil water content measurements in the field and soil physical measurements.

The studies showed that the yield was higher at the “plus farms” in 1999 and 2000 except for pair 4 where the “average farm” had a higher yield level both years.

The calculations in the farming system index showed that the farmer can influence the soil structure with his yearly measures. In most pairs the “plus farm” had a higher farming system index than the “average farm”. The “plus farm” in general had a better soil structure according to soil physical measurements such as infiltration capacity.

The farm with the higher yield in each pair had very often a soil with a greater amount of easily available water, a crop with a better developed root system that could use a greater part of the soil water magazine both in the topsoil and in the subsoil, a crop that could utilize the growth potential better and a faster establishment of the crop when the supply of easily available water was good in the topsoil.

A good soil structure with a great amount of easily available soil water made it possible for a fast crop establishment, good root development and a good utilization of soil water which created conditions for a high yield.

## SYFTE

Syftet med undersökningen var att analysera markstrukturens och vattenfaktorns betydelse för grödetablering, tillväxt och skördeutbyte. Studierna startade 1999 som en del av det av SLF stödda 4T-projektet som genomfördes åren 1997-2000 (Berglund et al., 2002b). Bakom starten av projekt 4T låg signalerna om att den svenska sockerskörden halkar efter vid jämförelse med andra sockerbetsodlande länder i Europa (Hummel-Gumaelius, 1996, Blomquist, 1998). Den låga skördeutvecklingen tillsammans med den höga skördevariationen mellan lantbrukare inom en och samma trakt var de två grundproblem som ledde fram till projektstarten av 4T. Ett antal studieresor till betodlande grannländer gav vid handen att etableringsfasen, markens bördighet och struktur, växttillgängligt vatten i marken, växtskyddet samt odlarens skicklighet och förmåga till stor del kan förklara skillnaden i sockerskörd mellan olika odlare med likartade förutsättningar. Skördeskillnaden mellan gårdar med liknande förutsättningar i jord och klimat, men med olika skördenivåer var incitamentet för parstudien inom 4T-projektet. I parstudien var gårdarna indelade parvis i sammanlagt sju par. En av gårdarna i paret hade historiskt höga skördenivåer och kallades plusgård. Granngården hade normala skörderesultat kring sockerbrukets medelskörd och kallades därför medelgård. Urvalet skedde med utgångspunkt i skördestatistik, diskussioner med betinspektörer samt framför allt djupintervjuer med de odlare som blev tillfrågade och visade intresse för att delta. Studien av markstruktur och markvattentillgång genomfördes inom ramen för parstudien.

## BAKGRUND

I Sverige, med vår korta vegetationsperiod, är en tidig sådd ett måste för att uppnå en hög skörd. Ordstävet ”en dag på våren motsvarar en vecka på hösten” återger rätt väl den princip odlaren bör följa för att uppnå höga skördar och en tidig mognad av grödorna. Inte minst i sockerbetsodlingen är det av stor vikt att fullt ut kunna utnyttja vegetationsperioden och få en snabb start på bettillväxten (Göransson & Sperlingsson, 1997).

En grundförutsättning för tidig sådd är att marken är väl-dränerad och har en god struktur som möjliggör tidig sådd utan körskador. En god markstruktur för växtproduktion kan definieras som en jord där aggregatstrukturen är välutvecklad och aggregaten är så stabila att de klarar påfrestningar från såväl mekanisk påverkan som väderlekens växlingar (Tisdall & Oades, 1982; Dexter, 1988). En jord i god struktur har en porstorleksfördelning som möjliggör transport av vatten och luft, lagring av växttillgängligt vatten och en god rotutveckling (Oades, 1984). En dålig markstruktur och därmed dåliga betingelser för grödans tillväxt leder till ett dåligt vatten- och växtnäringutnyttjande med en stora risker för utlakning av växtnäringssämnen. En god markstruktur är ett måste för att upprätthålla en hög odlingssäkerhet med små skördevariationer mellan år.

Markstrukturen eller porstorleksfördelningen i marken bestämmer jordens vattenhållande förmåga och lufthushållningen i marken (Letey, 1985). Grödans etablering och tillväxt är ofta direkt kopplad till tillgången på växttillgängligt vatten i marken. Med en god rotutveckling följer att en stor del av markvattenförrådet blir åtkomligt för växterna. Man brukar räkna med att allt vatten från fältkapacitet ned till permanenta vissningsgränsen, dvs vattnet i porstorlekarna 0,2-30  $\mu\text{m}$ , är tillgängligt för växten. Men medan vattnet i de största poren är mycket lättillgängligt, kommer vattnet att bli allt svårtillgängligare desto mindre poren blir. Andelen lättillgängligt vatten bör därför vara så stor som möjligt för

att inte grödan skall stressas under växstsäsongen (Johansson & Linnér, 1977; Dunham m.fl., 1986). En god markstruktur möjliggör en tidig etablering av grödan som då kan utnyttja de goda förutsättningarna för tillväxt som i allmänhet råder under växstsäsongens början.

I projektet har markstruktur och markvattentillgång studerats. Markstrukturen bedömdes med hjälp av ett markstrukturindex och markvattentillgången med hjälp av en markvattenmodell, vattenhaltsmätningar i fält och markfysikaliska analyser.

## **MATERIAL OCH METODER**

### **Provplatser**

Provplatserna i detta projekt sammanfaller med provplatserna i parstudien i det av SLF stödda 4T-projektet (Berglund et al., 2002b). I parstudien ingick fjorton sockerbetsodlande gårdar i södra och västra delen av Skåne. Berggrunden består huvudsakligen av baltisk morän med hög kalkhalt och jordarten är att beteckna som moränlättilera. På gårdarna undersöktes ett antal parametrar för att finna faktorer som begränsar sockerbetstillväxten. Gårdarna var indelade parvis i sammanlagt sju par. Gårdarna inom paren var närbelägna och hade objektivt sett samma förutsättningar med avseende på jordart och klimat men helt olika skördenivåer i sockerbetor. En av gårdarna hade historiskt höga skördenivåer och kallades plusgård. Granngården hade normala skörderesultat kring sockerbrukets medelskörd och kallades därför medelgård. Dessa pargårdar (kallade fält 1-14) användes även i den här studien. På varje fält fanns tre försöksrutor (ca 20 x 20 m) och inom försöksytorna två skörderutor (två beträder i tio meter). Mätningarna i detta projekt genomfördes under 4T-projektets två sista säsonger, 1999 och 2000, men resultat från en del av de mätningar som gjordes i andra delar av 4T-projektet under 1997 och 1998 har också använts. För närmare beskrivning av försöksplatserna hänvisas till slutrapporten från 4T-projektet (Berglund et al., 2002b).

### **Metoder**

#### Fysikaliska analyser

I varje provyta grävdes tre gropar med jämna mellanrum längs diagonalen och i dessa togs alla jordprover ut från vart och ett av de fyra djupen matjord (15-20 cm djup), plogsula (30-35 cm), övre alv (45-50 cm) och nedre alv (85-90 cm). Ett volymsäkert cylinderprov (höjd 50 mm och diameter 72 mm) och ett löst jordprov togs ut från varje nivå. Cylinderproven användes för bestämning av vattenhållande förmåga (vattenhalt vid ett vattenavförande tryck motsvarande 5 cm vattenpelare samt 1 och 6 meter vattenpelare) och torr skrymdensitet. De lösa jordproven användes för bestämning av kompakt densitet samt vattenhalt vid ett vattenavförande tryck motsvarande 50 och 150 meter vattenpelare. Metoderna finns beskrivna av Andersson (1955) och Andersson & Wiklert (1972).

#### Klimatdata

Aktuella klimatdata härrör från väderstationen i Ädelholm (fält 1-4), Örtofta (fält 5-8) och Jordberga (fält 9-14). Vidare har i vissa modellberäkningar (tex markstrukturindex)

använts ett ”typväder” där nederbörd och avdunstning härrör från en vallodlingsmodell (PC-vall) vilken utvecklats vid SLU av Fagerberg och Nyman (1991). För varje produktionsområde (SCB:s indelning) har en av SMHI:s väderstationer i området valts ut att representera produktionsområdet. Förutom ett medeltal, som får representera normalvädret, har standardavvikelser för olika väderfaktorer beräknats och dessa ger ett mått på väderlekstyperna kall och våt respektive varm och torr. Odlingssäsongen indelas i vår, sommar och höst och årets aktuella väder hänföres till något av dessa ”typväder”. Typvädret är en statistisk bearbetning av klimatdata från SMHI:s väderstation i Lund.

### Fältmätningar

Direkta mätningar av vattenhalten (volymprocent) i marken (djup 15-20, 30-35, 45-50 och 85-90 cm) gjordes under odlingssäsongen med en Thetaprobe som mäter vattenhalten i volymprocent genom att mäta dielektricitetskonstanten (Gaskin & Miller, 1996). Mätningarna gjordes med ca 14 dagars mellanrum. De vattenhalter som redovisas för varje fält är ett medeltal av 3 mätningar, en mätning på varje djup i varje provyta. I övrigt har de fältmätningar som gjordes i 4T-projektet utnyttjats, som t ex studier av rotutveckling, planräkningar och skörd.

### Beräkning av markvattenbudget

För att beräkna aktuell evapotranspiration ( $ET_a$ ) och hur vattenförråden i marken varierar under odlingssäsongen har en enkel markvattenmodell använts. Modellen är från början amerikansk (Erpenbeck, 1982) men har modifierats av Ragnar Persson vid Avdelning för hydroteknik, Institutionen för markvetenskap, SLU för att passa svenska förhållanden. Modellen kräver relativt få indata i form av bl.a. max tillgängligt markvattenförråd, uppkomstdatum för grödan, datum för full marktäckning, nederbörd och potentiell avdunstning.

### Markstrukturindex

Markstrukturindex (Berglund et al., 2002a) är en metod att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen. Indexet består av tre delar. En grundförbättringsdel där de grundläggande markfysikaliska förutsättningarna för odling bedöms, en odlingssystemdel där effekterna av brukarens årliga åtgärder värderas och ett enkelt markstrukturtest i fält. Utifrån odlingsdata på gårdarna har ett odlingssystemindex beräknats för växtföljden på de fält där provytorna var placerade år 2000. Mer generell information om markstrukturindex finns på hemsidan: [www.mv.slu.se/MSI](http://www.mv.slu.se/MSI).

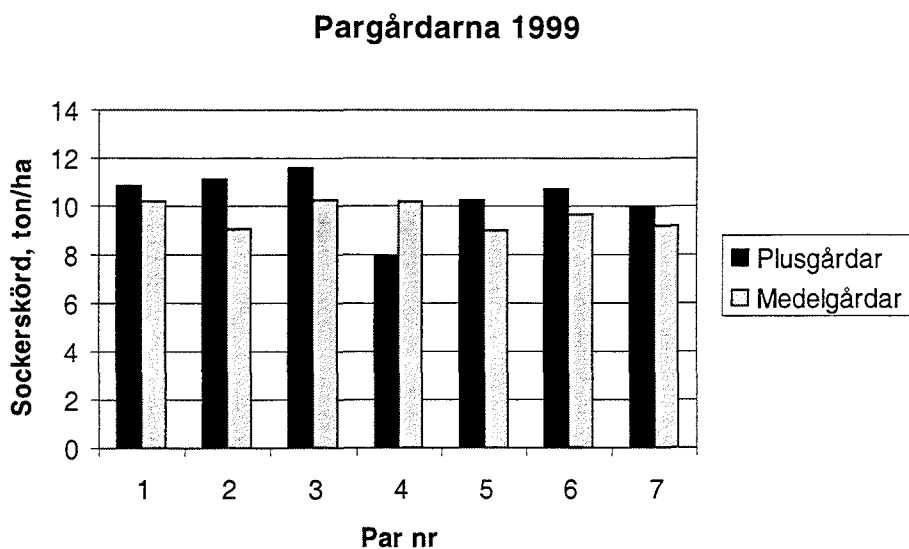
### Skörd

Alla skördedata härrör från parstudien i 4T-projektet (Berglund et al., 2002b).

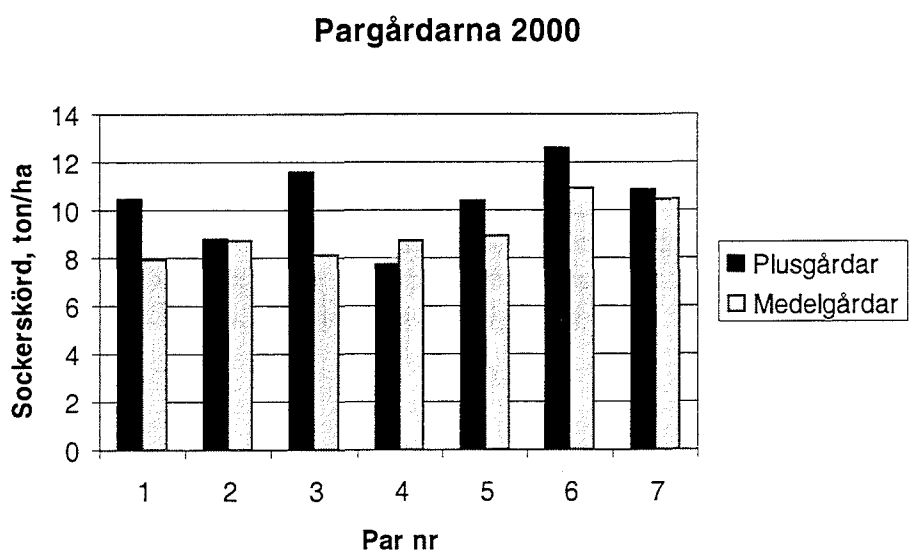
## RESULTAT OCH DISKUSSION

### Skördeutfall på pargårdarna

Skörden var genomgående högre på plusgården jämfört med medelgården under 1999 och 2000 utom i par 4 där medelgården hade en högre skördenivå båda åren (figurerna 1 och 2). För mer detaljerad skörderedovisning hänvisas till slutrapporten från 4T-projektet (Berglund et al., 2002b).



Figur 1. Skördeutfall på provytorna på pargårdarna år 1999.



Figur 2. Skördeutfall på provytorna på pargårdarna år 2000.

## Markstruktur

Markstrukturen påverkas, förutom av klimatet och väderleken, i hög grad av odlings-systemet och brukarens åtgärder. Strukturen förändras under året och över åren i olika grad för skilda jordar, odlingsystem och väderleksförhållanden. I regel är förändringarna störst i markens ytlager och avtagande med djupet. Odlingsystemet - gröda, växtföljd, jordbearbetningsmetoder, gödslingsåtgärder o.s.v. - kan påverka marken och dess struktur i såväl positiv som negativ riktning. Ett uthålligt odlingsystem bör upprätthålla en god struktur i marken och allra helst förbättra den.

### Markstrukturindex

Odlingsystemdelen i markstrukturindexet (Berglund et al., 2002a) är ett redskap för tolkning av de långsiktiga effekter odlingsystemet har på markstrukturen. Dessutom kan man simulera vad en förändring av odlingsystemet får för långsiktiga effekter på markstrukturen. En ökning av indexet innebär att alternativet är mer positivt för markstrukturen än det nuvarande systemet, en minskning det motsatta. Själva förändringen av indexet är viktigare än det exakta indexvärdet gården eller fältet erhåller. Opåverkbara bördighetsfaktorer såsom klimat, jordart etc. inverkar på indexets utfall, liksom vissa faktorer som påverkas långsamt som t.ex. mullhalt. Dessa förutsättningar varierar mellan olika gårdar, därför bör indexet endast användas för en enskild gård eller fält och inte för jämförelser mellan olika gårdar.

Trots att indexet i första hand bör användas som ett utvärderingsinstrument på den enskilda gården/fältet har odlingsystemdelen använts på pargårdarna i 4T-projektet eftersom de grundläggande förutsättningarna var desamma inom paren. Utgångspunkten i indexet är att växternas rotproduktion, upptorkning av markprofilen och återförsel av organiskt material är positivt samt att bar ofrusen mark, marköverfarter och markbelastningar är negativt för markstrukturen (tabell 1). I beräkningarna utgår man från gårdens klimat, jordart, växtföljd, maskinpark, bearbetningssystem etc. De olika delarna i indexet korrigeras med olika koefficienter och den summerade effekten vägs till slut ihop till ett odlings-systemindex. De olika faktorernas långsiktiga inverkan på markstrukturen värderas lika för organiskt material, rotmängd, upptorkning och bar ofrusen mark. Packning värderas högre och överfarter lägre.

**Tabell 1.** Odlings-systemindexets sex faktorer och de indexvärden de kan anta

Faktor	”Min-värde”	”Max-värde”
+ Tillförsel av organiskt material	0	+10,0
+ Rotmängd	0	+10,0
+ Upptorkning av markprofilen	0	+10,0
- Bar ofrusen mark	0	-10,0
- Markpackning (alv)	0	-13,3
- Antal överfarter	0	- 6,7

För detaljerad information om varje gårds jordart, arrondering, maskinpark, bearbetningar samt fakta om uppkomst- och skördedatum, skördenivå och övrig information om odlings-systemen hänvisas till Berglund och medarbetare (2002a).

### Odlingssystemindex för pargårdarna

I tabell 2 sammanfattas hur odlingssystemindexet föll ut på pargårdarna. I huvuddelen av paren hade plusgården ett högre index än medelgården. De mest markanta skillnaderna syns i par 2 och par 3. De hade också störst skillnader i sina odlingssystem. Plusgården i par 3 hade ett extremt högt odlingssystemindex. Den är den enda av samtliga gårdar där vall ingick i växtföljden. Dessutom var markbelastningarna där små. I par 6 har medelgård- en fått klart bättre resultat än plusgården. Den främsta orsaken är att medelgårdens maskiner orsakade mindre alvpackning (t.ex. tvåradig betupptagare jämfört med sexradig).

**Tabell 2.** Sammanfattning av odlingssystem- index för pargårdarna i 4T-projektet

Par	Plusgård	Medelgård	Fördel
1	-2,3	-2,0	"lika"
2	+0,4	-3,8	plusgård
3	+5,4	-1,8	plusgård
4	+2,1	+1,3	plusgård
5	+0,9	+1,4	"lika"
6	-0,7	+2,7	medelgård
7	+0,7	-1,7	plusgård

### Odlingssystemindex för par 3

De mest markanta skillnaderna fanns i par 3. Plusgårdens växtföljd gav ett starkt positivt värde, +5,4 och medelgårdens index blev tydligt negativt -1,8. Båda gårdarna hade en sexårig växtföljd där betor återkom vart tredje år (tabell 3). Därutöver skiljde sig växtföljderna åt relativt mycket. Plusgården hade tvåårig vall (1/3 av växtföljden). Medelgården hade mer spannmål (endast höstsådd) och dessutom konservärt.

Skillnaderna mellan gårdarna kan dels förklaras med de grödor som ingick i växtföljden, dels med de maskiner som körde på fälten. Plusgårdens exceptionellt positiva indexvärde berodde till stor del på den tvååriga vällen. Den producerade stor mängd rötter, hade mycket positiv inverkan på upptorkningen av markprofilen samt täckte marken året om. Dessutom tog man på gården ifråga endast en vallskörd (som inte orsakade någon alvpackning), återväxten betades och antalet överfarer var få. Vallens positiva effekter kan annars i vissa fall motverkas av stora och tunga vallskördemaskiner som orsakar markpackning.

Trots högre skördar på plusgården (i synnerhet av betor) blev nettot av organiskt material lägre än på medelgården. Detta beror på att man på plusgården bortförde halmen från skiftet när vårkorn och höstvetete odlades, d.v.s. 3 år av 6. Till höstvetetet tillfördes stallgödsel, det bidrog med lite mer organiskt material än vad som togs bort med halmen. På medelgården bortfördes ingen halm och ingen stallgödsel spreds. Plusgårdens bearbetningar medförde överlag extremt lite alvpackning eftersom man hade relativt små



maskiner och redskap. Medelgården, å andra sidan, hade flera stora maskiner som orsakade mycket packning. Dessutom ingick konservärt i växtföljden vilket hade flera negativa effekter på de parametrar som ingår i markstrukturindexet: lite organiskt material, lite rötter, mycket bar mark och en tung ärttröska som orsakade mycket alvpackning. Antalet överfarter för hela växtföljden var något fler på plusgården än på medelgården.

**Tabell 3.** Resultat av odlingssystemindex för par 3 i 4T-projektet

År	Gröda	Org mtrl	Rötter	Upptork- ning	Bar- mark	Pack- ning	Över- farter	Summa för gröda	Medel för växtföljd
<u>Plusgård</u>									
1995	Vall	1,0	6,6	9,0	0,0	0,0	-2,3	14,3	
1996	Vall	0,8	5,6	9,0	0,0	0,0	-2,3	13,1	
1997	Sockerbetor	6,1	0,4	6,5	-5,2	-2,7	-3,7	1,5	
1998	Vårkorn	1,4	4,4	0,7	-1,6	-2,6	-3,3	-1,1	
1999	Höstvete	5,0	6,0	5,8	-2,0	-2,7	-5,3	6,8	
2000	Sockerbetor	7,1	0,4	6,5	-9,3	-2,7	-4,0	-1,8	
	Summa växtföljd	21,4	23,4	37,5	-18,1	-10,7	-20,9		<b>5,4</b>
<u>Medelgård</u>									
1995	Höstråg	4,2	5,6	5,3	-2,0	-5,8	-2,3	5,0	
1996	Sockerbetor	5,3	0,3	6,5	-5,2	-8,0	-4,0	-5,0	
1997	Konservärt	0,9	1,1	4,7	-5,8	-9,8	-2,3	-11,3	
1998	Höstraps	3,5	4,7	3,5	-1,3	-5,8	-3,3	1,3	
1999	Höstvete	4,5	6,0	5,8	-2,4	-2,7	-3,3	7,8	
2000	Sockerbetor	5,6	0,4	6,5	-9,2	-8,0	-4,0	-8,7	
	Summa växtföljd	24,0	18,2	32,3	-25,9	-40,1	-19,2		<b>-1,8</b>

#### Simulering med mindre betupptagare

Plusgårdarna i par 1 och 6 fick ett lägre index än motsvarande medelgård och de var också de enda gårdarna med sexradiga självgående betupptagare, vilka orsakar stor alvpackning. Gårdarna har antagligen haft en lättare betupptagare innan, eftersom de sexradiga är relativt nya på marknaden. Den föregående upptagaren kan ha haft större inflytande på den markstruktur som är i dagsläget (indexet visar ju vad som sker långsiktigt). En simulering med tre radiga traktordragna betupptagare (vikt på 7½ ton + 7½ ton i maxlast) visar på en stor skillnad i odlingssystemindex. Indexet för plusgården i par 1 blir då +0,6, d.v.s. mycket högre än medelgårdens. Plusgården i par 6 får ett index på +1,6, fortfarande lägre än medelgården men skillnaden blir då mindre.

#### Generella resultat

Om man tittar på de enskilda grödorna så genererade sockerbetorna de lägsta värdena och höstvete de högsta. Orsakerna till att betodlingen ger lägst utslag i indexet är flera: de bidrar med liten mängd rötter (huvuddelen av den underjordiska produktionen skördas och endast den fibrösa delen av rotsystemet blir kvar), medför hög andel bar ofrusen mark,

mycket alvpackning och många överfarter. De negativa effekterna uppvägdes något av den stora mängd organiskt material betorna bidrar med ovan jord och den goda upptorknings-effekt de har. Att höstvetet gav så gott resultat beror på en hög skördenivå som genererar relativt mycket organiskt material och rötter. Liksom andra höstsådda grödor har höstvetet god upptorkningseffekt samt täcker marken en längre tid av växtodlingsåret än vårsådda. Effekterna av det speglas i parametrarna upptorkning och barmark.

Indexet visar framför allt den effekt odlingsystemet har på markstrukturen om man fortsätter med det nuvarande systemet, alltså vilken riktning systemet tar. Vi har endast analyserat odlingsystemen under tre till max sex år. Eftersom struktureffekterna är så långsiktiga förklarar indexet inte helt och hållet hur markstrukturen ser ut idag, och vad som orsakat den. Det kan bero på hur man hanterat jordarna långt tidigare.

#### Jämförelse med markfysikaliska undersökningar

I 4T-projektet gjordes många markfysikaliska mätningar för att om möjligt kunna karakterisera jordarnas markstruktur (Berglund et al., 2002b). I tabell 4 har en översiktlig sammanställning gjorts av resultaten från de studierna.

**Tabell 4.** Översiktlig sammanställning av markfysikaliska undersökningar på pargårdarna i 4T-projektet 1997/98-2000. Jämförelse av resultaten på plusgården i paret i förhållande till medelgården i samma par (Berglund et al., 2002b). + = något bättre, ++ = bättre, +++ = mycket bättre, - = något sämre, -- = sämre, \* = statistiskt signifikant skillnad

Parameter och skikt		Par som jämförts (plusgård kontra medelgård)						
		Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	Par 5	Par 6	Par 7
Skrym- densitet	Matjord	+++*	++	--	--	++	++	-
	Plogsula	+	+++*	++	++	--	--*	++
	Alv	+	+++*	++	++	--*	--	--
Vatten- genom- släpplighet	Matjord	--	--	++	--	++	++	+
	Plogsula	+++	++	+++*	++	++	-	+
	Alv	+++	--	+++*	--	++	-	+
Vertikal infiltra- tions- förmåga	0-50 cm	++	++	+++	++	+++*	-	+
Luftfylld porvolym vid fält- kapacitet	Matjord	++	--	--	-	+++*	++	--
	Plogsula	++	++	++	++	+++*	--	++
	Alv	--	++	++	++	++	++	--
Profilmedelvärde luftfylld porvolym		++	++	++	++	++	++	--

Vid en jämförelse av beräkningarna i odlingsystemdelen av markstrukturindex med de markfysikaliska undersökningar som gjordes i 4T-projektet kan det konstateras att resultaten stämmer relativt väl överens, i synnerhet om man tar hänsyn till den ovan nämnda simuleringen. Plusgården i paret har i regel uppvisat bättre markstruktur (tabell 4) och fått högre odlingsystemindex än medelgården.

Odlingsystemindex för par 1 visade i de första beräkningarna ett likartat resultat för båda gårdarna, men den ovan nämnda simuleringen med mindre betupptagare resulterade i klart bättre resultat för plusgården. Plusgården uppvisade också bättre markstruktur än medelgården i de markfysikaliska undersökningarna. Simuleringen med mindre betupptagare, verkar ge ett indexförhållande mellan gårdarna som stämmer väl överens med den markstruktur som finns där i nuläget. Effekterna av den sexradiga betupptagaren har antagligen inte slagit igenom helt ännu, men enligt indexet är risken stor att den kommer orsaka kraftig försämring av markstrukturen i det långa loppet.

För par 5 har medelgården fått något högre index än plusgården (tabell 2). Den främsta källan till indexskillnaderna är att plusgårdens odlingsystem enligt modellen orsakar mer alvpackning än medelgårdens. Enligt de markfysikaliska undersökningarna var markstrukturen klart bättre på plusgården än på medelgården.

I par 6 har plusgårdens index blivit mycket lägre än medelgårdens. Skillnaderna blir mindre när alvpackningsparametern på plusgården ändras till det simulerade resultatet, men plusgårdens odlingsystemindex är trots detta lägre. Det beror framför allt på att, förutom betupptagaren, även dess plog och tröska orsakar mer packning. Resultatet stämmer med de markfysikaliska undersökningarna där ca hälften av parametrarna var sämre på plusgården än på medelgården, t.ex. skrymdensiteten, som på plusgården är signifikant högre i plogsulan och även högre i alven. Plusgården hade även något lägre vertikal infiltrationsförmåga. En annan förklaring kan givetvis vara att det inte är markstrukturen som varit avgörande för skillnaden i skördenivå mellan gårdarna i detta par.

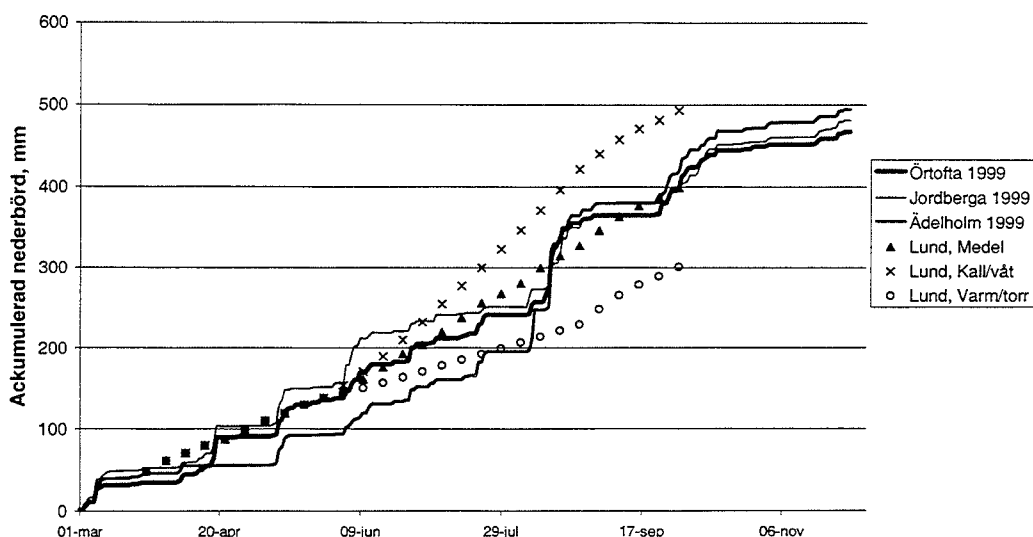
## **Vattenfaktorn**

Växternas vattenbehov tillgodoses vanligen via nederbörd och utnyttjande av markvattenförrådet. Vattenförsörjningen kan förbättras genom bevattning eller åtgärder för att öka markens vattenhållande förmåga och främja utnyttjandet av markvattnet genom en god rotutveckling. Vanligen tar växten upp nästan allt vatten via rötterna och endast en mycket liten del via bladen. Vattenuptagningen är störst i rothårszonen. En god rotutveckling och en stor mängd för växterna åtkomligt vatten i marken är därför en grundförutsättning för att växterna skall kunna utnyttja den tillväxtpotential som klimatet medger. Vattenfaktorn är av avgörande betydelse både för växternas etablering och tillväxt.

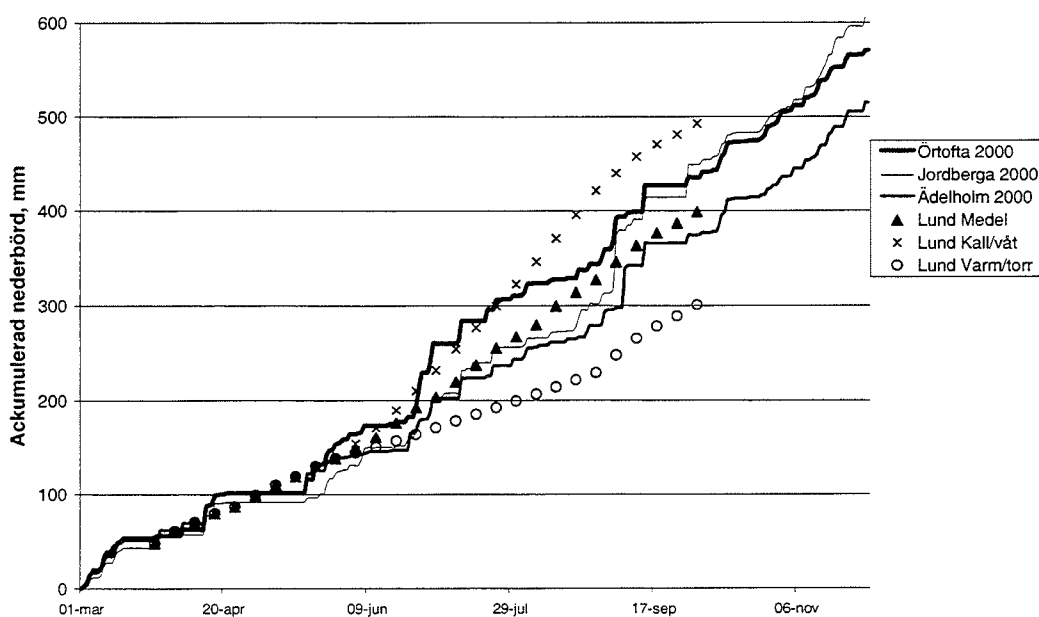
## Årsmånen

Grödans aktuella avdunstning bestäms förutom av vädret även av vilken typ av växt det är och tillgången på för växten tillgängligt vatten i marken. När en gröda tillväxer som bäst kommer dess transpiration att i princip motsvara den potentiella (av vädret bestämda) avdunstningen. Årsmånen kommer med andra ord att styra mycket av växternas tillväxt-

potential. Klimatdata för området redovisas i figurerna 3-7. Klimatstationerna ligger i närheten av de 14 gårdarna i parstudien. Klimatstationen i Ädelholm representerar par 1 och 2, Örtofta par 3 och 4 samt Jordberga par 5, 6 och 7. I figurerna 3 och 4 har den ackumulerade nederbörden under 1999 och 2000 för de tre klimatstationerna jämförts med typvädet för stationen i Lund. Försommaren 1999 vid stationen i Ädelholm (par 1 och 2) var något torrare än normalt. I övrigt var 1999 ett ganska normalt år nederbördsmässigt. Nederbörden under 2000 var genomgående högre än 1999, så vattenfaktorn bör ha varit mer utslagsgivande för skördenivån under 1999 än 2000.

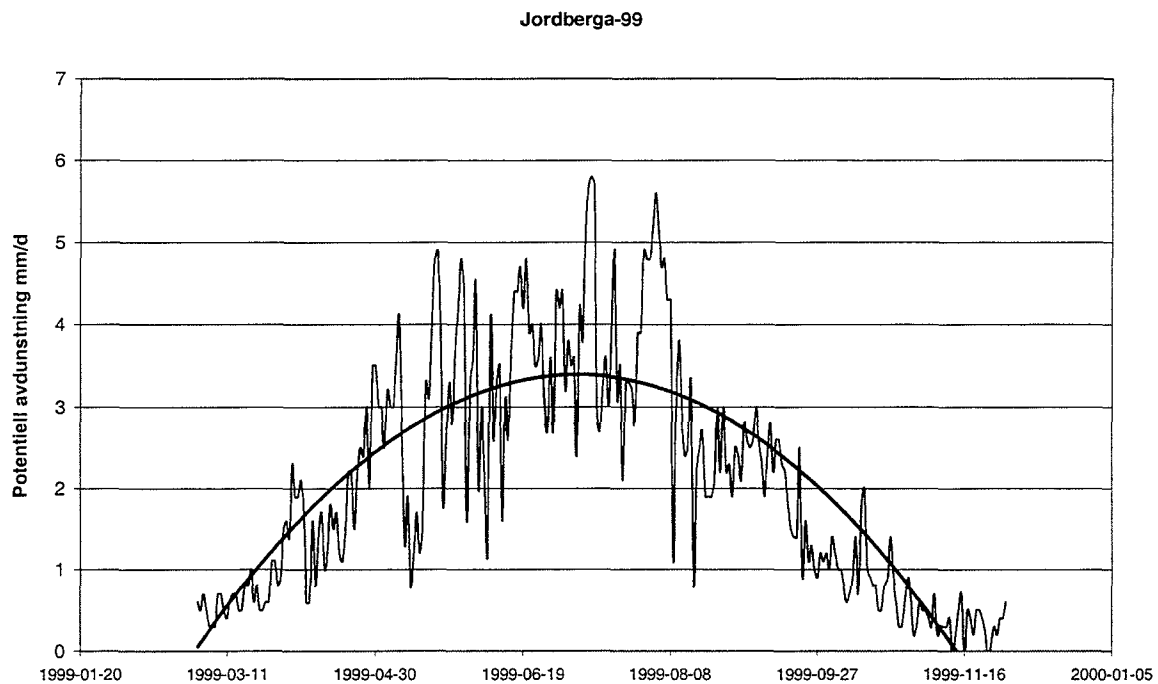


**Figur 3.** Ackumulerad nederbörd 1 mars 1999 – 30 november 1999 för de tre klimatstationerna Ädelholm (representerar par 1 och 2), Jordberga (par 3 och 4) och Örtofta (par 5, 6 och 7) samt som jämförelse "typväder" från SMHI:s klimatstation i Lund.



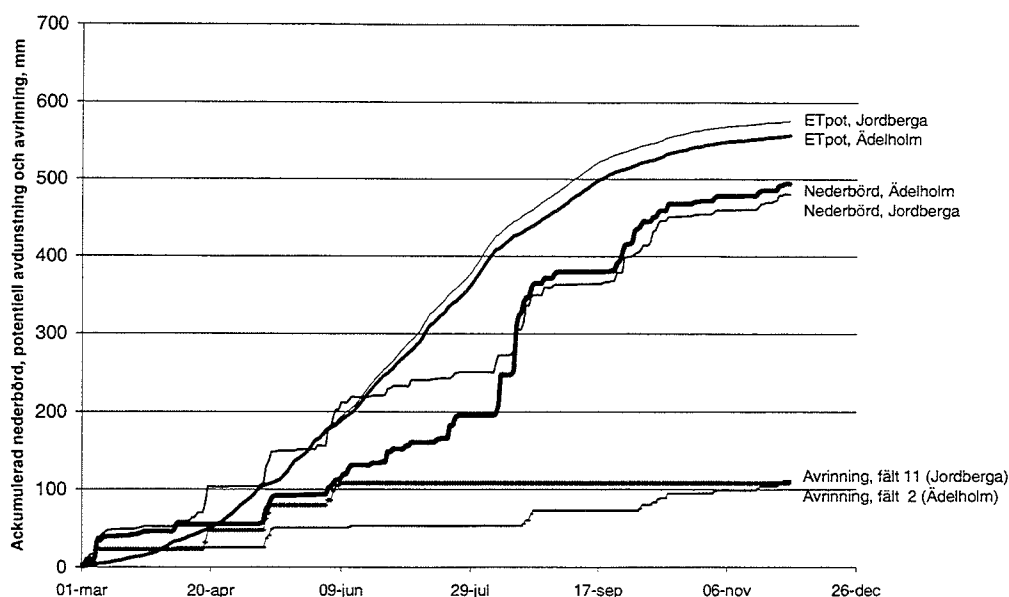
**Figur 4.** Ackumulerad nederbörd 1 mars 2000 – 30 november 2000 för de tre klimatstationerna Ädelholm (representerar par 1 och 2), Jordberga (par 3 och 4) och Örtofta (par 5, 6 och 7) samt som jämförelse "typväder" från SMHI:s klimatstation i Lund.

Den potentiella avdunstningen (beräknad från klimatdata) varierade mycket under växtsäsongen (figur 5) och översteg 5 mm/dag enskilda dagar mitt i sommaren.

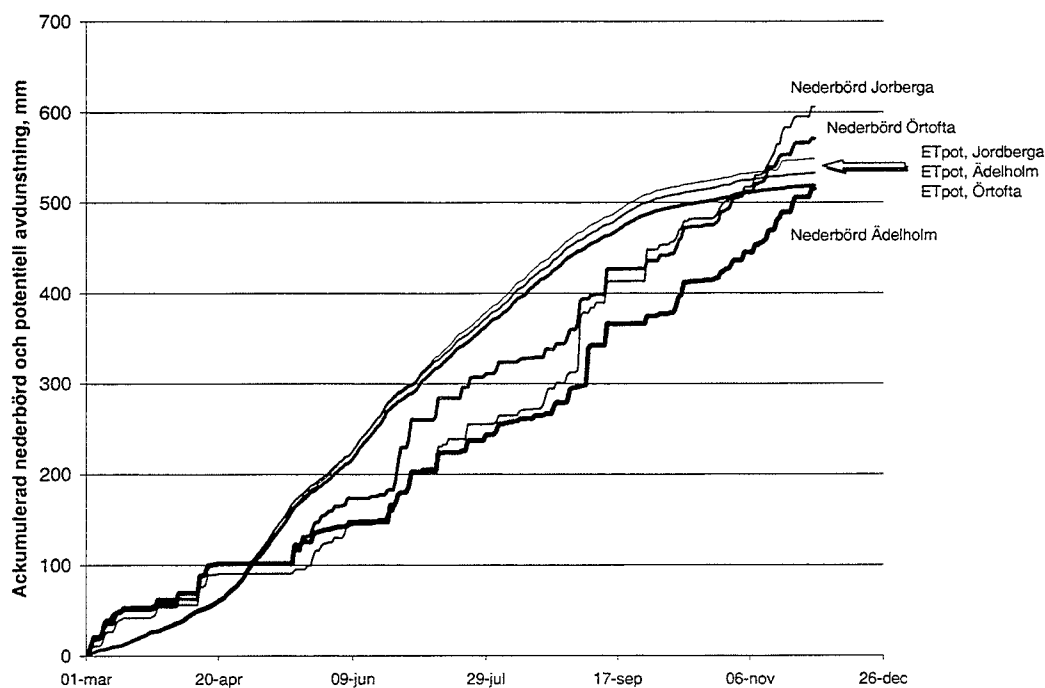


**Figur 5.** Potentiell avdunstning växtsäsongen 1999 beräknad med meteorologiska data från klimatstationen i Jordberga.

Nederbörden under våren och försommaren är normalt lägre än de flesta gröders vattenbehov. Även i juli kan nederbörden vara för låg för växande grödor, vilket gör grödan mycket beroende av markvattentillgången. Den potentiella avdunstningen 1999 översteg nederbörden redan tidigt på säsongen (figur 6) vid Ädelholm, men inte förrän i juni vid Jordberga. Avrinning skedde enligt markvattenmodellen endast i början av odlingssäsongen från fält 11, medan ett par intensiva nederbördstillfällen ledde till avrinning från fält 2 även senare under säsongen. Odlingssäsongen 2000 (figur 7) var något nederbördsrikare än den föregående framför allt vid stationerna Örtofta (par 3 och 4) och Jordberga (par 5,6 och 7). Trots detta översteg den potentiella avdunstningen nederbörden redan tidigt på säsongen.



**Figur 6.** Ackumulerad nederbörd, potentiell avdunstning ( $ET_{pot}$ ) och avrinning 1 mars – 30 november 1999 för de två klimatstationerna Ädelholm (representerar par 1 och 2) och Jordberga (par 5, 6 och 7). Avrinning beräknad med en enkel markvattenmodell för fält 2 (klimatdata från Ädelholm) och fält 11 (klimatdata från Jordberga).

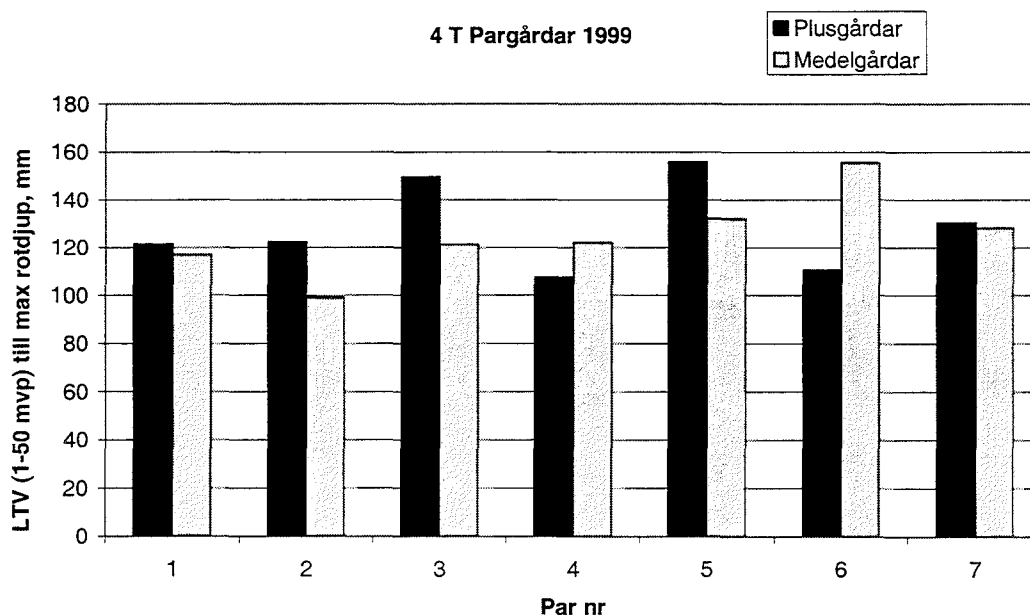


**Figur 7.** Ackumulerad nederbörd och potentiell avdunstning ( $ET_{pot}$ ) 1 mars – 30 november 2000 för klimatstationerna Ädelholm (representerar par 1 och 2), Örtofta (par 3 och 4) och Jordberga (par 5, 6 och 7).

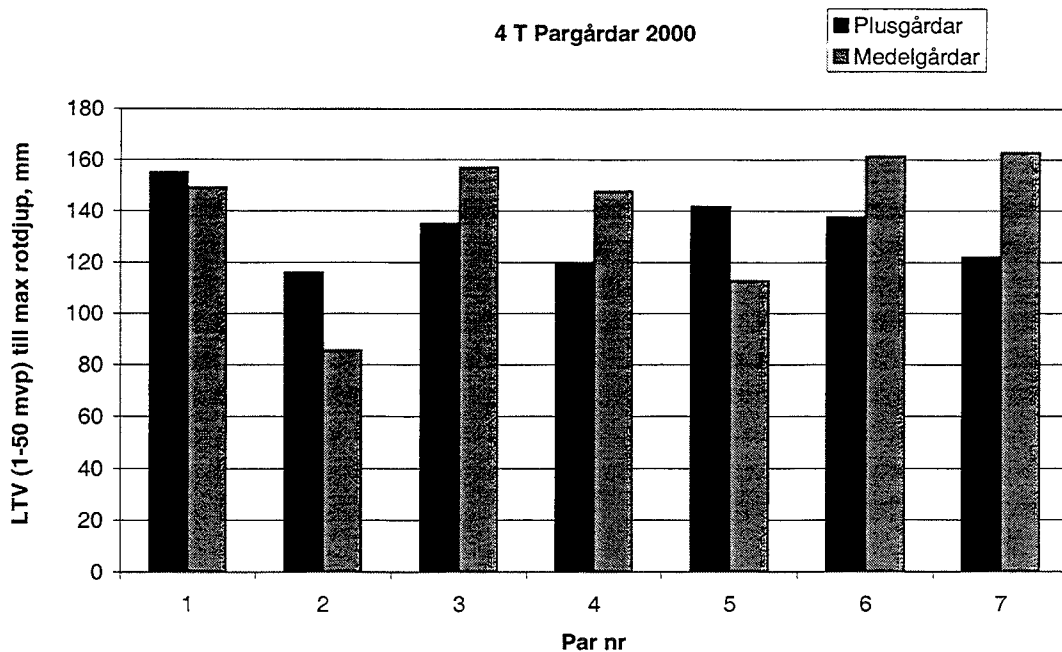
## Markvattnets tillgänglighet för växterna

En del vatten i marken är så hårt bundet att inte växterna kan ta upp det, dvs man har uppnått vissningsgränsen, vilket för de flesta växter motsvarar ett vattenavförande tryck av 150 meter vattenpelare (mvp). Vid normal dränering har dessutom, ett par dagar efter ett regn, en del av vattnet i marken dränerats bort och man har vad man kallar fältkapacitet (vattenavförande tryck ca 1 mvp). Det för växterna tillgängliga vattnet (TV) kan definieras som den mängd vatten som finns i marken mellan fälkapacitet (1 mvp) och vissningsgräns (150 mvp). För att växten skall kunna ta upp allt det tillgängliga vattnet måste emellertid marken vara väl genomrotad. Om rotutvecklingen är sparsam så kan växten endast ta upp lättillgängligt vatten (LTV), här definierat som vatten bundet med ett vattenavförande tryck mellan 1 mvp och 50 mvp eller mycket lättillgängligt vatten (MLTV), vatten bundet med mellan 1 mvp och 6 mvp vattenavförande tryck. En stor mängd växttillgängligt vatten, och allra helst mycket lättillgängligt, anger en högre skördepotential förutsatt att det finns tillräckligt med luft i markprofilen.

I figurerna 8 och 9 redovisas beräkningar av mängden lättillgängligt vatten (1-50 mvp) i marken till maximalt rotdjup. Rotdjupet bestämdes okulärt i fält respektive år. 1999 hade plusgården ett större förråd av lättillgängligt vatten i 5 av 7 par och 2000 var motsvarande siffra 3 av 7. I par 4 var skörden högre på medelgården än på plusgården både 1999 och 2000 (figur 4 och 5) så även i det paret hade gården med högre skörd ett större markvattenförråd med lättillgängligt vatten att tillgå.



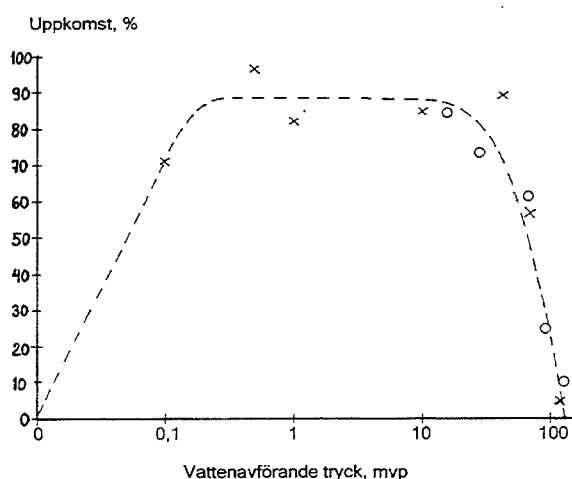
**Figur 8.** Lättillgängligt vatten (LTV) i marken till maximalt rotdjup på pargårdarna 1999.



**Figur 9.** Lättillgängligt vatten (LTV) i marken till maximalt rottdjup på pargårdarna 2000.

#### Grödans uppkomst och vattenfaktorn

Under gröningsfasen finns det i allmänhet tillräckligt med vatten tillgängligt i marken för att sockerbetsfröet skall gro om kontakten mellan frö och jord är god. I en studie av Aura (1975) var groningen god även vid vattenhalter motsvarande ett vattenavförande tryck av 100 meter vattenpelare (mvp), men vid 130 mvp grodde endast ett fåtal frön. I fasen mellan groning och uppkomst är emellertid groddplantan mycket känslig för hur hårt vattnet är bundet i marken (se figur 10).

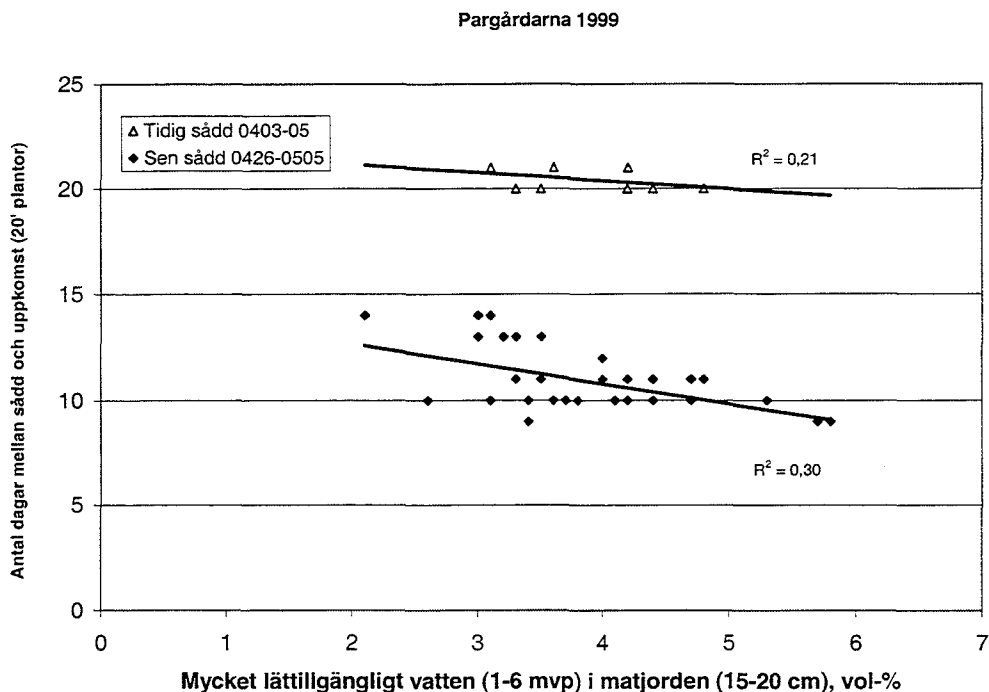


**Figur 10.** Vattenfaktorns betydelse för uppkomsten av sockerbeta. Uppkomst = antal plantor/antal sådda frön, vattenavförande tryck = hur hårt bundet vattnet är i marken (mvp = meter vattenpelare). 150 mvp = permanenta vissningsgränsen. Kurvan är anpassad för hand. O = mojord, X = lerjord (efter Aura, 1975).



När vattnet är hårt bundet blir groddplantan även mycket känslig för mekaniskt motstånd (Aura, 1975) samt mottaglig för skadedjur och sjukdomar (Scott & Jaggard, 1993) med luckiga bestånd som följd. Resultaten i figur 10 antyder att om en stor andel av vattnet är mycket lättillgängligt för växterna så finns förutsättningar för en bra groning och uppkomst. I en undersökning av Loman (1986) som genomfördes på moränlerorna vid Ädelholm utanför Staffanstorp i Skåne, kom man fram till ett vattenavförande tryck mellan 3 och 5 mvp som det optimala fuktighetstillståndet i marken på 10 cm djup före sockerbetsplantans uppkomst.

I figur 11 har antalet dagar mellan sådd och uppkomst (definierat som 20 000 plantor) i pargårdarna 1999 relaterats till mängden mycket lättillgängligt vatten (1-6 mvp) i matjorden (15-20 cm djup). Fälten har delats upp i två grupper beroende på såtid. I båda grupperna fanns en tendens till snabbare uppkomst när vattentillgången var god.

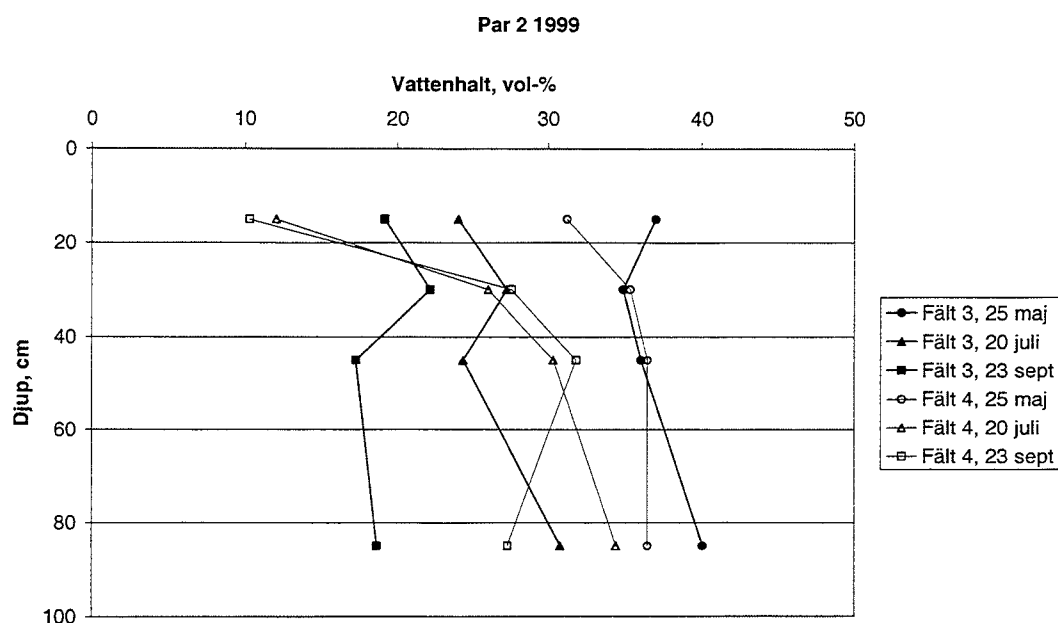


**Figur 11.** Sambandet mellan vattnets tillgänglighet för växterna och uppkomsten av sockerbetsplantorna på pargårdarna år 1999.

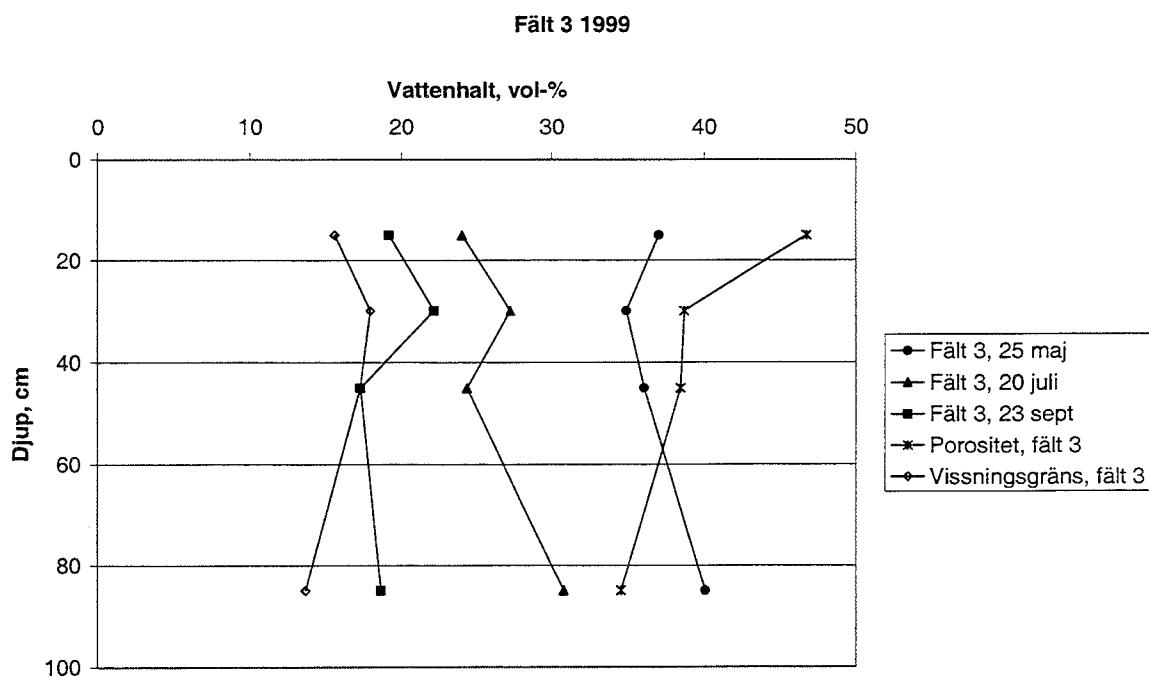
### Grödans utnyttjande av markvattnet

Under växtsäsongen 1999 och 2000 genomfördes markvattenhaltsmätningar på samtliga pargårdar i 4T-projektet. I det följande redovisas mätningar från par 2, 4 och 5. I par 2 och 5 var skörden högre på plusgården än på medelgården både 1999 och 2000 medan det i par 4 var medelgården som hade den högre skörden båda åren. Markvattenhaltsmätningarna genomfördes av naturliga skäl inte på exakt samma punkt där proverna till de markfysikaliska undersökningarna togs. En viss jordartsvariation kan vara orsaken till att vattenhalten i fält på våren för någon enstaka nivå översteg den porositet som bestämts på laboratoriet (se tex figurerna 13 och 14).

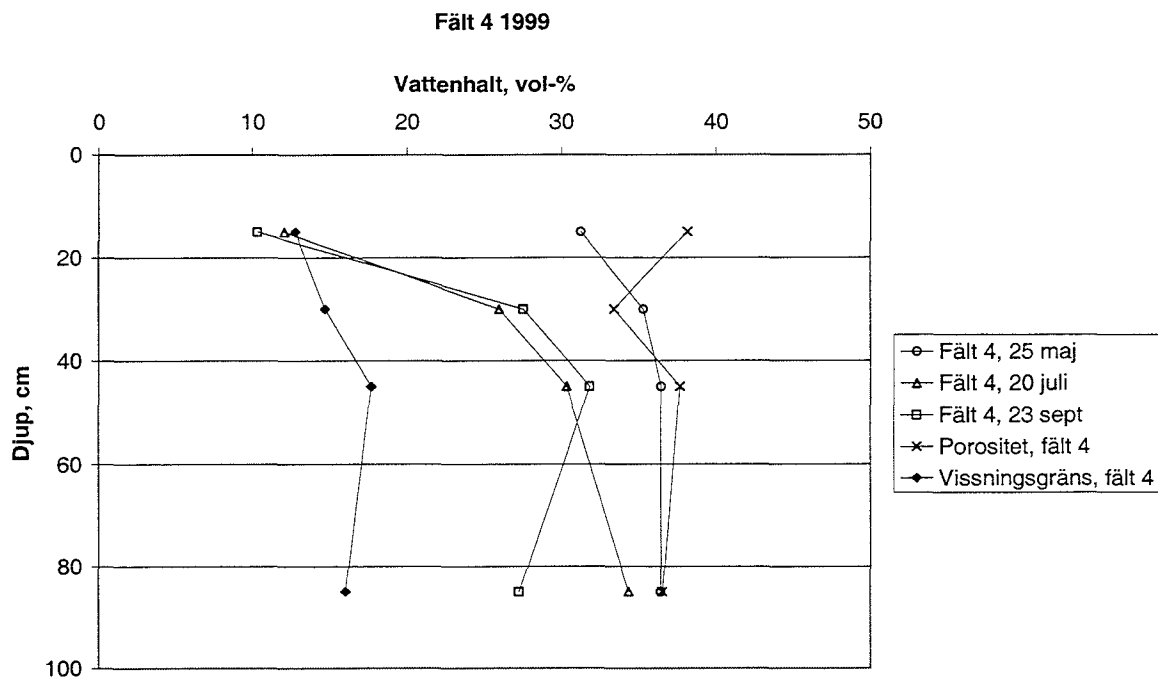
**Par 2 1999.** I figur 12-14 redovisas markvattenhalter för par 2 under växtsäsongen 1999. Utgångsläget i maj var relativt lika på de båda gårdarna men sedan skiljde sig markvattenupptaget markant mellan fält 3 och 4 (figur 12). Grödan på medelgården (fält 4) utnyttjade en stor del av vattnet i matjorden ned till vissningsgränsen (figur 14) redan i juli, men förmådde ta upp mycket lite vatten på djupet. Grödan på plusgården (fält 3) utnyttjade däremot vattnet i en stor del av markprofilen (figur 13) och fortsatte att ta upp vatten även under hösten. Skillnaden i rotutveckling vid undersökningarna i fält uppfattades som relativt små, men till plusgårdens fördel.



**Figur 12.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid tre tidpunkter under odlingsäsongen 1999 i par 2.

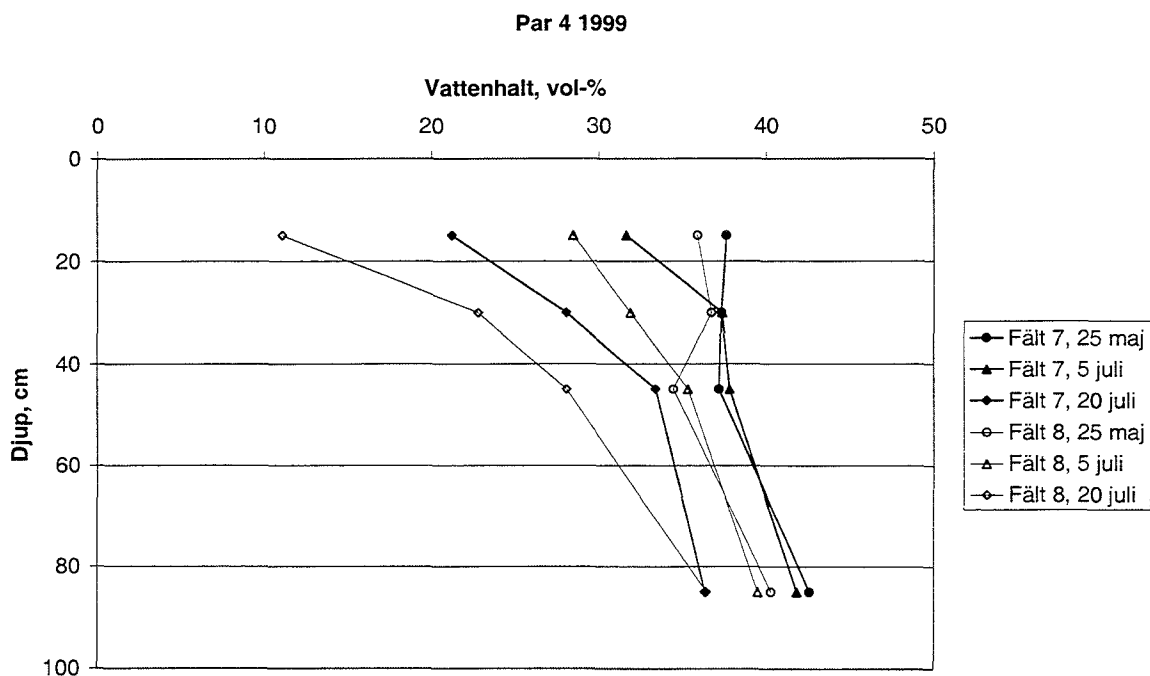


**Figur 13.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid tre tidpunkter under odlingsäsongen 1999 samt porositet och fysikalisk vissningsgräns för fält 3 i par 2.



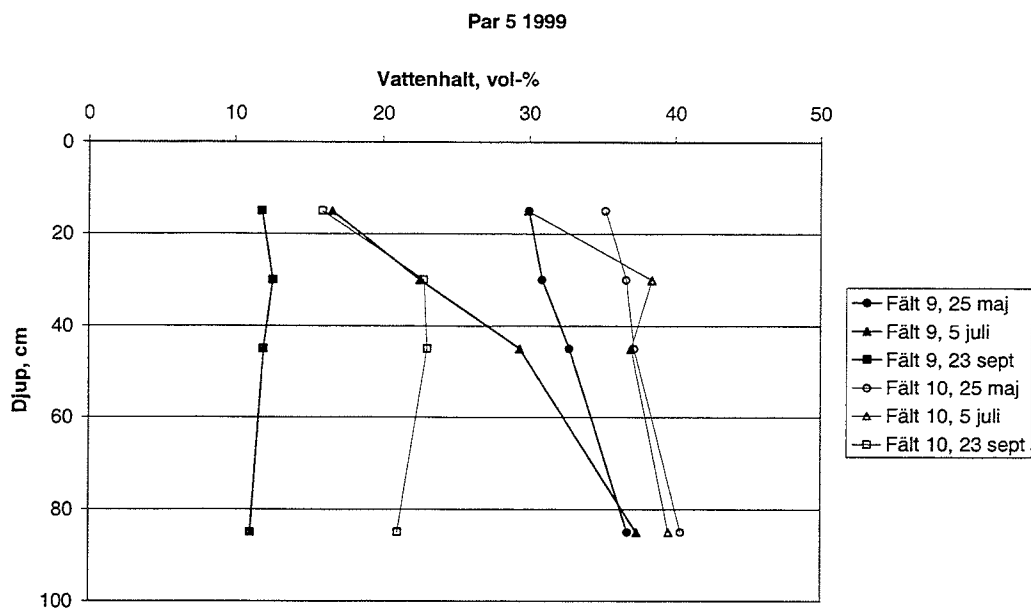
**Figur 14.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid tre tidpunkter under odlingsåret 1999 samt porositet och fysikalisk vissningsgräns för fält 4 i par 2.

**Par 4 1999.** Markvattenhalterna på våren var även i par 4 nästan identiska men därefter utnyttjade medelgårdens gröda en större del av markvattnet både i matjorden och på djupet (figur 15). Även rotutvecklingen var bättre på medelgården och till slut även skördenivån.



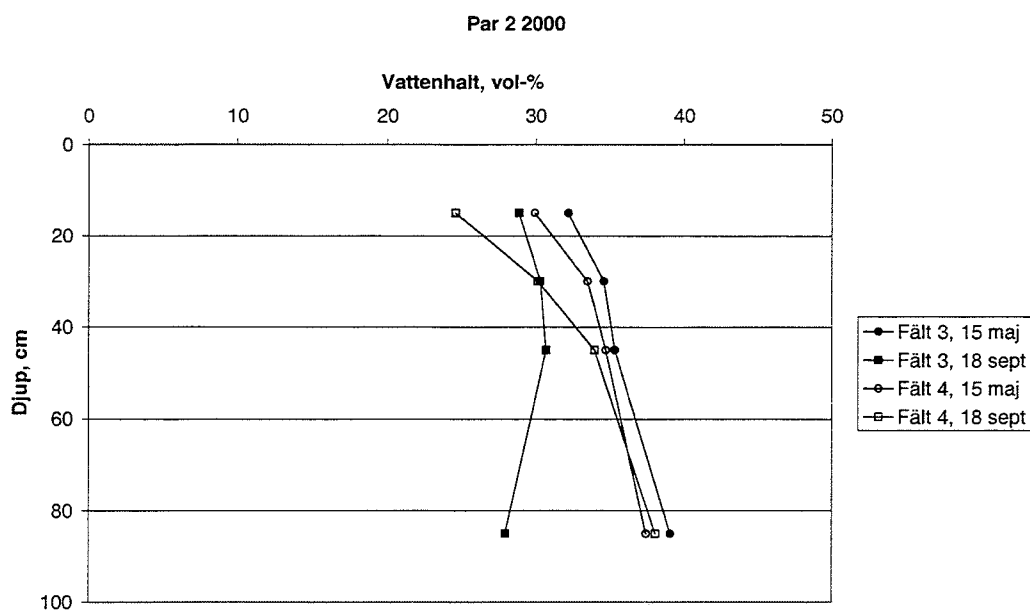
**Figur 15.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid tre tidpunkter under odlingsåret 1999 i par 4.

**Par 5 1999.** Rotutvecklingen varierade mycket mellan provgroparna på båda gårdarna i par 5, men med en viss tendens till bättre rotutveckling på djupet på plusgården (fält 9). Plusgården utnyttjade en mycket stor andel av markvattenförrådet (figur 16), ända ned mot vissningsgränsen även i alven. På medelgården utnyttjades markvattnet i mindre omfattning, framför allt på djupet.



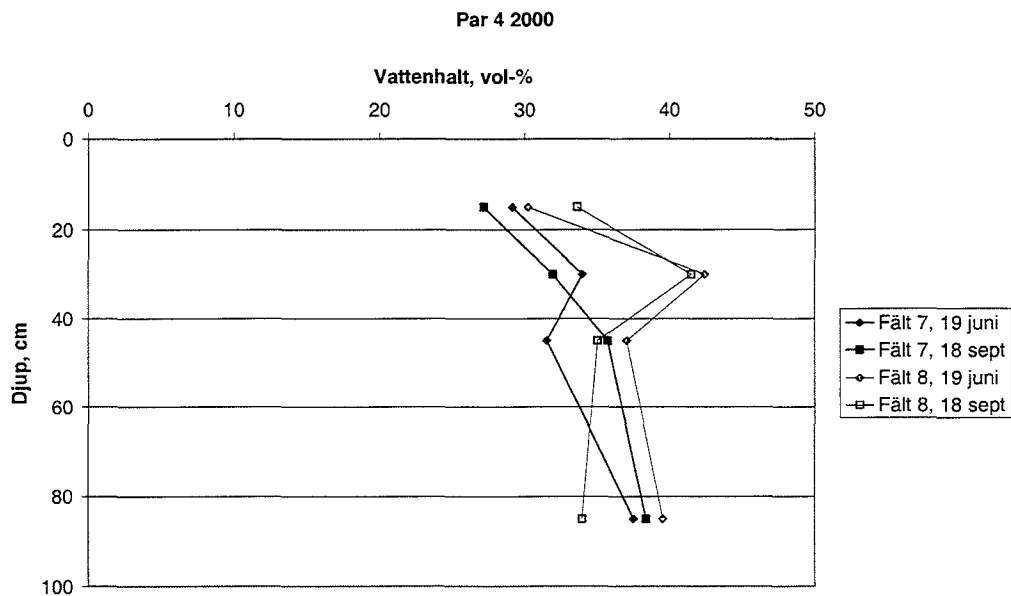
**Figur 16.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid tre tidpunkter under odlingsäsongen 1999 i par 5.

**Par 2 2000.** Vattenupptaget var något större på djupet på plusgården än på medelgården, men skillnaderna var mycket mindre än under 1999 (figur 16).



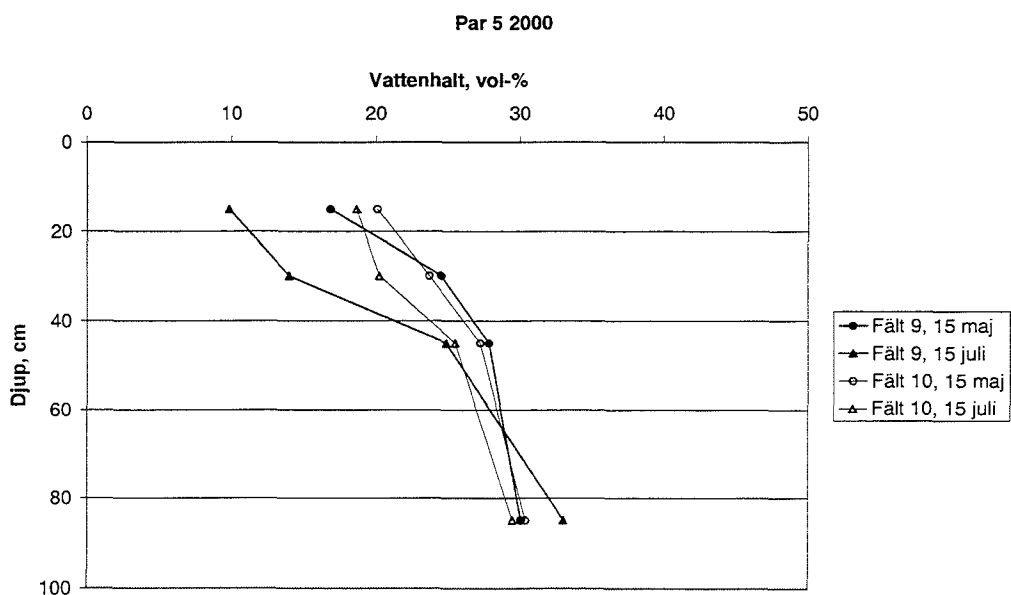
**Figur 17.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid två tidpunkter under odlingsäsongen 2000 i par 2.

**Par 4 2000.** Grödan på plusgården (fält 7) utnyttjade markvattnet något mer än grödan på medelgården (figur 18). Rotutvecklingen varierade något mer mellan provgruperna på medelgården än på plusgården, men några större skillnader i rotutveckling gick inte att uppmäta.

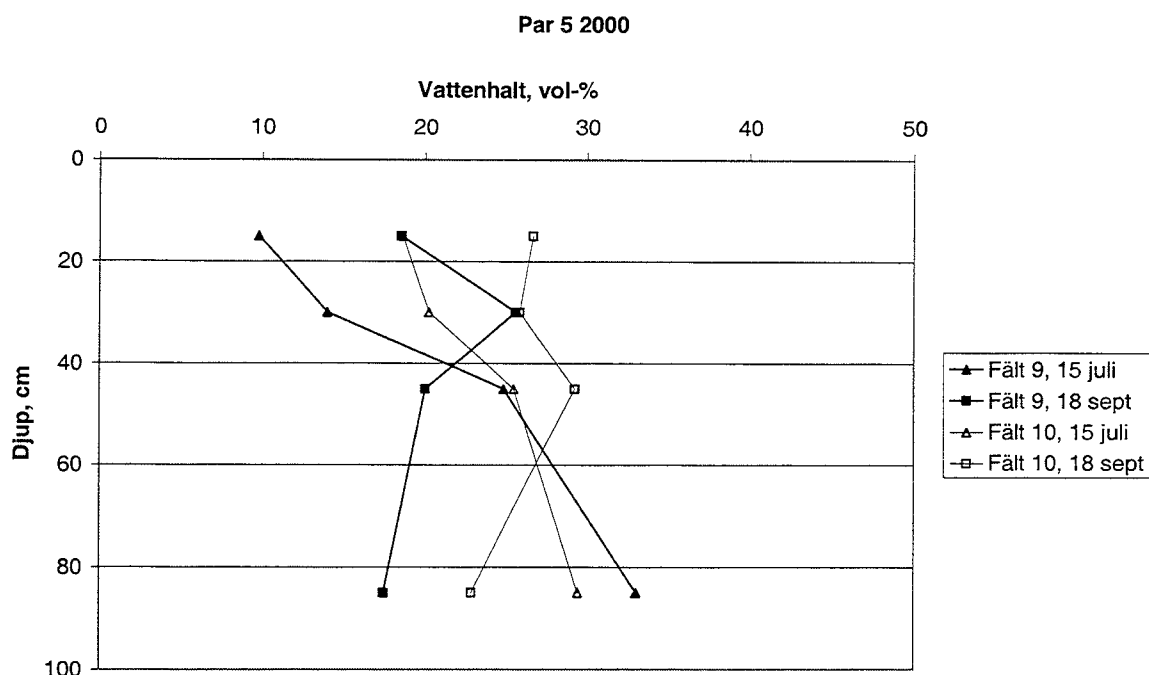


**Figur 18.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid två tidpunkter under odlingsåret 2000 i par 4.

**Par 5 2000.** Ingen större skillnad i markvattenhalt uppmättes mellan gårdarna på våren (figur 19) men under försommaren uppmättes en större uttorkning i de övre skikten på plusgården än på medelgården. Regn i mitten av september (figur 4) fyllde på markvattenförrådet i den övre delen av profilen (figur 20). Under eftersommaren och hösten var upptorkningen på djupet större på plusgården än på medelgården (figur 20).



**Figur 19.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid två tidpunkter under början av odlingsåret 2000 i par 5.



**Figur 20.** Vattenhalt i marken (medeltal av tre provpunkter) vid två tidpunkter under slutet av odlingssäsongen 2000 i par 5.

Inledningen av odlingssäsongen 1999 var lite torr, men sedan var nederbörden ganska normal under resten av säsongen. År 2000 var ett nederbördsrikare år än 1999, vilket gjorde att vattenfaktorn inte var lika utslagsgivande 2000 som 1999. Generellt var uttorkningen av markprofilen mycket större under 1999 än det nederbördsrikare året 2000. Nästan allt vatten som växten använder tas upp av det fibrösa rotsystemet (Dunham, 1993) från allt större djup alltefter som rotutvecklingen fortskrider (se t.ex. figur 15, fält 9). Grödans rötter var på plusgårdarna i par 2 och 5 och medelgården i par 4 bättre utvecklade och grödan kunde därmed utnyttja markvattnet bättre än motsvarande pargård, vilket också avspeglade sig i högre skördenivåer. Speciellt plusgården i par 2 och 5 1999 utnyttjade en mycket stor del av markvattenförrådet och vattnet kan här ha varit en begränsande faktor för grödans tillväxt eftersom markvattnet i vissa fall utnyttjades ända ned till vissningsgränsen. Medelgårdarna i par 2 och 5 utnyttjade inte markvattenförrådet i samma grad på grund av en sämre markstruktur och rotutveckling, som gjorde att vattnet inte var åtkomligt för växterna trots att det inte var särskilt hårt bundet. Här har vattentillgången säkert varit en begränsande faktor för planttillväxten.

## Grödans tillväxt och vattenfaktorn

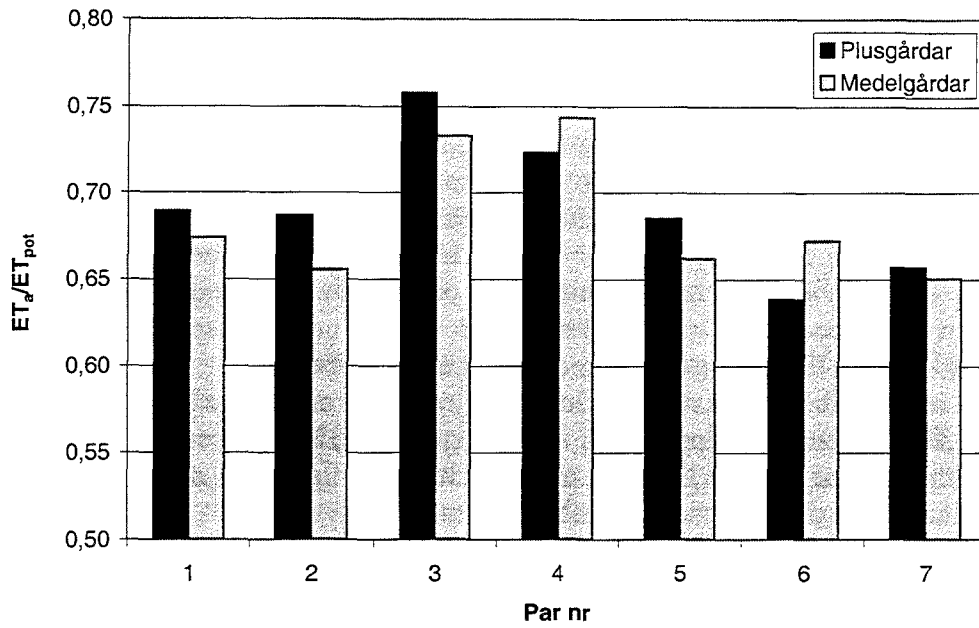
En sockerbetsgröda som är väl försörjd med vatten tar upp ca 400-500 mm vatten mellan maj och oktober (Bailey, 1990). När grödan tillväxer som bäst kommer evapotranspirationen,  $ET_a$ , att i princip motsvara den potentiella (av vädret bestämda möjliga) avdunstningen,  $ET_{pot}$  (Johansson & Linnér, 1977). Behovet av vatten är emellertid inte jämnt fördelat under säsongen. Medan den potentiella avdunstningen normalt är störst under juni och juli så är grödans behov av vatten i allmänhet som störst under juli och augusti (Dunham m.fl., 1986). Man kan räkna med att den aktuella avdunstningen är lika stor som den potentiella först vid ca 50 % marktäckning och att den överstiger den potentiella något (20 %) vid full marktäckning (den potentiella avdunstningen är beräknad för en kortklippt gräsmatta som är välförsörjd med vatten men sockerbetsbeståndet är högre och "skrovligare" vilket bör ge en högre avdunstning). Om växtens vattenbehov inte tillfredställs genom nederbörd, bevattning eller utnyttjande av markvattenförrådet kommer inte den potentiella tillväxten att uppnås. Vi får en lägre skörd än vad som är möjligt om grödan är välförsörjd med vatten. En god markstruktur möjliggör en tidig etablering av grödan som då kan utnyttja de goda förutsättningarna för tillväxt som i allmänhet råder under växtsäsongens början.

Som ett mått på hur väl grödan har förmått utnyttja tillväxtpotentialen kan relativ evapotranspiration,  $ET_a/ET_{pot}$ , användas. Den potentiella evapotranspirationen ( $ET_{pot}$ ) har beräknats utifrån klimatdata (Penman-Monteiths formel) från de tre väderstationerna Ädelholm, Jordberga och Örtofta. Den aktuella evapotranspirationen ( $ET_a$ ) har beräknats med hjälp av en enkel markvattenmodell (Erpenbeck, 1982), som kräver relativt få indata i form av bl.a. maximalt tillgängligt markvattenförråd, uppkomstdatum, datum för full täckning, nederbörd och potentiell avdunstning.

Som uppkomstdatum har datum för 20 000 plantor använts och för full täckning har datum för 60 % marktäckning använts. Rotzonens vatteninnehåll har beräknats utifrån de rotstudier som gjordes i 4T-projektet och analyserna av jordarnas vattenhållande förmåga. Markprofilen ansågs väl genomrotad om antalet rötter översteg 5 rötter/8 dm<sup>2</sup> och under denna gräns betecknades rotutvecklingen som sparsam ned till max rottdjup. Vid väl genomrotning (matjord och övre alv) ansågs växterna kunna ta upp vatten ned till vissningsgränsen (150 meter vattenpelare) och vid sparsam genomrotning (nedre alv) vatten som var bundet med ett vattenavförande tryck lägre än 50 meter vattenpelare. När rotzonens växttillgängliga vatteninnehåll minskar, nås förr eller senare en situation när växternas transpiration begränsas och den aktuella evapotranspirationen understiger den potentiella. I modellen påverkas transpirationen när halva det växttillgängliga markvattenförrådet är utnyttjat.

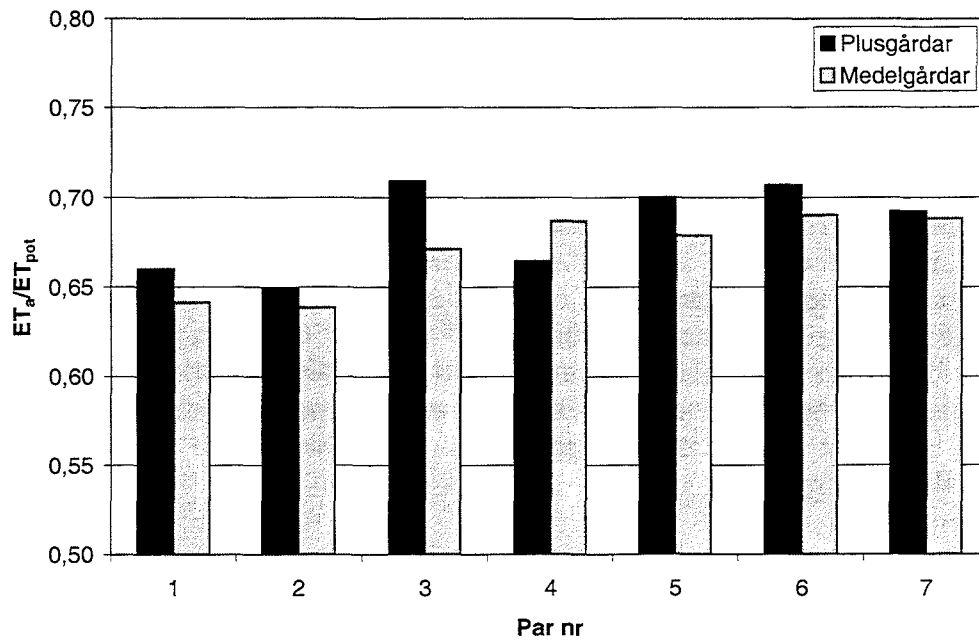
Den relativa evapotranspirationen,  $ET_a/ET_{pot}$ , har beräknats för samtliga fält i pargårdarna 1999 och 2000 (figurerna 21 och 22). 1999 hade plusgården en högre relativ evapotranspiration i 5 av 7 par och 2000 6 av 7 par. Om man tar hänsyn till att skörden i par 4 var högre på medelgården än på plusgården så var det endast i par 6 1999 som den relativa evapotranspirationen var högre på fältet med lägre skörd.

Pargårdarna 1999



Figur 21. Relativ evapotranspiration,  $ET_a/ET_{pot}$  i pargårdarna under växetsäsongen 1999.

Pargårdarna 2000



Figur 22. Relativ evapotranspiration,  $ET_a/ET_{pot}$  i pargårdarna under växetsäsongen 2000.



## SAMMANFATTANDE SLUTSATSER

### Skörden:

Skörden var genomgående högre på plusgården jämfört med medelgården under 1999 och 2000 utom i par 4 där medelgården hade en högre skördenivå de båda åren.

### Markstrukturen:

Beräkningarna i markstrukturindexet visade att

- brukaren kan påverka markstrukturen med sina åtgärder,
- i huvuddelen av paret hade plusgården ett högre odlingsystemindex än medelgården,
- plusgården i paret uppvisade i regel bättre markstruktur även enligt de markfysikaliska mätningarna.

### Vattenfaktorn:

I huvuddelen av paret hade gården med högre skörd

- en jord med ett större markvattenförråd med för växterna lättillgängligt vatten än gården med lägre skörd,
- en gröda med ett bättre utvecklat rotsystem som kunde utnyttja en större andel av markvattenförrådet i både matjorden och alven,
- en gröda som förmådde utnyttja tillväxtpotentialen bättre,
- en tendens till snabbare uppkomst av grödan när tillgången på mycket lättillgängligt vatten var god i matjorden.

En god markstruktur med en stor andel lättillgängligt vatten möjliggjorde en snabb etablering av grödan, en god rotutveckling och ett bra markvattenutnyttjande som gav förutsättningar för en hög skörd.

## REFERENSER

- Andersson, S. 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VIII. En experimentell metod. Grundförbättring 8, Specialnummer 2.
- Andersson, S. & Wiklert P. 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XXIII. Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. Grundförbättring 25.
- Aura, E. 1975. Effects of soil moisture on the germination and emergence of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland, vol. 47:1-70.
- Berglund, K., Berglund, Ö. & Gustafson Bjureus, A. 2002a. Markstrukturindex – ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingsystemets inverkan på markstrukturen. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. f. lantbrukets hydroteknik, Avdelningsmeddelande 02:4.
- Berglund, K., Blomquist, J., Christensson, B., Gerhardsson, B., Hellgren, O., Larsson, H., Rydberg, T. & Wildt-Persson, T. 2002b. 4T – Tillväxt Till Tio Ton. Slutrapport till Stiftelsen Lantbruksforskning. Rapporten finns publicerad på hemsidan: [www.sockerbetor.nu](http://www.sockerbetor.nu) under rubriken Betförsök/4T.
- Bailey, R. 1990. Irrigated crops and their management. Farming Press Books, Ipswich.
- Blomquist, J. 1998. Skördarna varierar stort. Betodlaren 1, 20-24.

- Dunham, R.J., Messemer, A.B. & Jaggard, K.W. 1986. Scheduling irrigation for sugar beet. Paper presented at the UKIA Conference "Irrigation Sugar Beet", Silsoe College, England, February 1986. p 44-57.
- Dunham, R.J. 1993. Water use and irrigation. In: The Sugar Beet Crop (eds. D.A. Cooke & R.K. Scott), Chapman & Hall, London, pp. 278-310.
- Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*, 11, 199-238.
- Erpenbeck, J.P. 1982. Irrigation scheduling. A review of techniques and adaption of the USDA irrigation scheduling computer program for Swedish conditions. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. f. lantbrukets hydroteknik. Rapport 127.
- Fagerberg, B. & Nyman, P. 1991.Handledning för dataprogrammet PCVALL. Del IV: Väderdata för vegetationsperioden på 39 orter i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f växtodlingslära. Växtodling 26.
- Gaskin, G.J. & Miller, J.D. 1996. Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique. *J. Agr. Engng. Res.* 63, 153-160.
- Göransson, C.G. & Sperlingsson, C. 1997. Ny satsning av Samarbetskommittén, Tillväxt Till Tio Ton. *Betodlaren* 2, 19-21.
- Hummel-Gumaelius, T. 1996. Svensk betodling halkar efter. *Betodlaren* 4.
- Johansson, W. & Linnér, H. 1977. Bevattning. Behov - effekter - teknik. LT:s förlag, Stockholm.
- Kutschera, L. 1960. Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. Frankfurt am Main: DLG-Verlags-GmbH. 574 s.
- Letey, J. 1985. Relationships between Soil Physical Properties and Crop Production. *Advances in Soil Science* 1, 277-294.
- Loman, G. 1986. The climate of a sugar beet stand. Dynamics, impact on the crop and possibilities of improvement. *Meddelanden från Lunds Universitets Geografiska Institution, Avhandlingar* CI. 182 s.
- Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76, 319-37.
- Scott, R.K. & Jaggard, K.W. 1993. Crop physiology and agronomy. In: The Sugar Beet Crop (eds. D.A. Cooke & R.K. Scott), Chapman & Hall, London, pp. 156-177.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.  
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1999

- 99:1 Kindvall, T. Strukturkalkning på lerjordar - effekter på markstruktur och sockerbetskörd. 55 s.
- 99:2 Börjesson, E. Naturliga system för rening av lakvatten i Ranstad - vilka är möjligheterna? 67 s.
- 99:3 Gärdenäs, A. (ed). Scale and variability issues in the soil-hydrological system. Workshop proceedings. The 25-27<sup>th</sup> of August 1999 at Wiks Castle, Sweden. 57 s.
- 99:4 Bengtson, L. Retention of colloids in lysimeter experiments on undisturbed macroporous clay soil. 43 s.
- 99:5 Wennman, P. Vegetationsfilter för rening av lakvatten - kväveaspekter. 45 s.
- 00:1 Stjernman, L. Gruvavfall som växtsubstrat - effekter av organiskt material. 58 s.
- 00:2 Björkman, N. Biologisk avlucckring - effekter av rödklöver och lusern på markstruktur och sockerbetskörd. 58 s.
- 01:1 Gustafsson, H. The use of plants for soil remediation at Milford Haven Refinery in South Wales. 37 s.
- 02:1 Lundberg, M. Skador av is och ytvatten i vall i norra Sverige. 80 s.
- 02:2 Gustafsson Bjuréus, A. & Karlsson, J. Markstrukturindex – utvärdering av en metod att bedöma odlingssystemets uthållighet och jordarnas fysikaliska status. 167 S.
- 02:3 Andersson, J. Possible Strategies for Sustainable Land Use in the Hilly Area of Northern Vietnam. 88 s.
- 02:4 Berglund, K., Berglund, Ö. & Gustafson Bjuréus, A. Markstrukturindex – ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen. 132 s.
- 02:5 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K., Blombäck, K., Karlberg, L., Persson, G., Cienciala, E., Kätterer, T., Gärdenäs, A. & Lewan, L. Biogeofysik - en introduktion. 146 s.
- 02:6 Lindström, J., Linnér, J. & Arvidsson, J. Tubulering – en kostnadseffektiv markvårdsåtgärd. 38 s.
- 03:1 Joel, A., Wesström, I. & Linnér, H. Reglerad dränering. Topografiska och hydrologiska förutsättningar i södra Sveriges kustnära jordbruksområden. 26 s.
- 03:2 Salazar G., O. Agroforestry combined with water harvesting in the central zone of Chile. Soil properties and biomass production. 37 s.
- 03:3 Berglund, K. Markstruktur och markvattentillgång – begränsande faktorer i svensk sockerbetsodling. 32 s.

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

---

Distribution:

Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik  
Box 7014  
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 85, 67 11 86

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics  
P.O. Box 7014  
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. +46-(18) 67 11 85, +46-(18) 67 11 86

---