



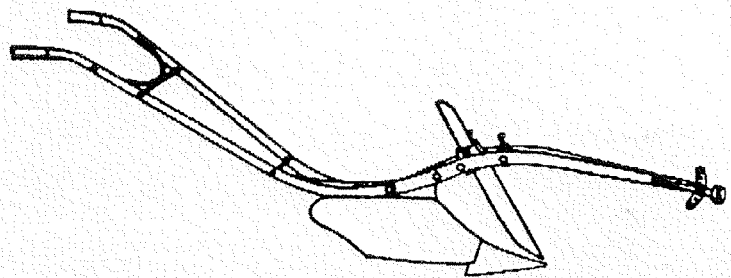
Institutionen för  
Markvetenskap  
Uppsala

# MEDDELANDEN FRÅN --- --- JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,  
S-750 07 Uppsala.

Department of Soil Sciences,

Bulletins from the Division of Soil Management



Nr 28

1999

Erika Sjöberg, Lennart Olsson & Patrik Persson

**En modell för beräkning av markens  
packningskänslighet under  
vegetationsperioden - mätningar och  
simuleringar på två skånska moränjordar**

*A model for calculation of soil compactability  
during the growing period - measurements and  
simulations on two moraine soils in southern  
Sweden*

ISSN 1102-6995

ISRN SLU-JB-M--28--SE



Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för Markvetenskap  
Avdelningen för Jordbearbetning  
Erika Sjöberg  
Medförfattare Lennart Olsson och Patrik Persson

**En modell för beräkning av markens packningskänslighet under vegetationsperioden – mätningar och simuleringar på två skånska moränjordar.**

A model for calculation of soil compactability during the growing period – measurements and simulations on two moraine soils in southern Sweden.

Handledare: Johan Arvidsson

# Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING.....	3
SUMMARY .....	4
FÖRORD.....	6
INLEDNING .....	6
SYFTE .....	7
MATERIAL OCH METODER.....	7
FÖRSÖKSJORDARNA.....	7
<i>Textur och struktur</i> .....	7
<i>Vattenhållande förmåga och genomsläpplighet</i> .....	8
<i>Markens vattenhållande förmåga</i> .....	9
<i>Vattenhaltsprovtagning och mätning av rotutvecklingen och beståndets slutenhet</i> .....	10
VÄDERDATA 1997 .....	11
SIMULERINGAR AV VATTENHALTER .....	11
SOIL-MODELLEN .....	12
BESKRIVNING AV MODELLEN.....	12
PARAMETERISERING .....	13
KALIBRERING AV SOIL -MODELLEN FÖR 1997.....	15
<i>Grödelaterade parametrar</i> .....	15
SIMULERING AV VATTENHALTEN UNDER PERIODEN 1963 -1988. ....	15
SIMULERINGAR AV MEKANISK HÅLLFASTHET.....	16
RESULTAT.....	18
VÄXTTILLGÄNGLIGT VATTEN .....	18
GRÖDUTVECKLING .....	19
RESULTAT AV MEKANISKA HÅLLFASTHETEN.....	20
<i>Kronoslätt</i> .....	20
<i>Elvireborg</i> .....	21
KALIBRERING AV SOIL MODELLEN.....	22
<i>Kronoslätt</i> .....	22
<i>Elvireborg</i> .....	24
PACKNINGSFREKVENSEN UNDER ETT ÅR BASERAT PÅ PERIOD 1963- 1988. ....	26
<i>Kronoslätt</i> .....	26
<i>Elvireborg</i> .....	28
DISKUSSION.....	30
SLUTSATSER .....	31
REFERENSER .....	32



## Sammanfattning

Detta examensarbete ingår som en del i ett större projekt tillsammans med Danisco Sugar AB om att förebygga packning i alven vid sockerbetssskörd med tunga betupptagare. Arbetet bygger på att vattenhalter i marken har mätts under en växtsäsong (1997) och beräknats med hjälp av simuleringsmodellen SOIL. Därefter har det beräknats vattenhalter från väderdata för en längre period, och sedan har det tagits fram hur stor risk det finns för packning på hösten.

Lantbruket har sedan andra världskriget gått genom en mängd förändringar som bl.a. har lett till att det används större och tyngre maskiner. Syftet med detta projekt var att undersöka hur ofta packningen i alven skulle uppkomma genom att mäta och beräkna vattenhalterna i marken. Vi mätte vattenhalterna var 14 dag under hela växtsäsongen 1997 på två jordar: Elvireborg som ligger öster om Lanskrona och Kronoslätt som ligger i närheten av Hemmesdyngge i södra Skåne. På Elvireborg odlades sockerbetor och vårvete medan det på Kronoslätt odlades korn och sockerbetor. Elvireborg är en varvig moränlera. Fältet har en porositet på 38 % med 18,4 % ej upptagbart vatten och 15,6 % växttillgängligt vatten. Elvireborg har en god genomsläpplighet i matjorden medan den blir kraftigt lägre i den nedre delen av alven (60-100 cm). Under torra somrar förbättras dock genomsläppligheten genom att det bildas stora sprickor som leder regnvatten snabbt ner till alven. Kronoslätt är en lerig mo i matjorden som övergår till en lätt lera i alven. Fältet har en från början större mängd växttillgängligt vatten där porositeten är 36,7 % med 12,6 % (vol/vol) ej upptagbart vatten och 20,9 % växttillgängligt vatten. Kronoslätt har en kraftigt minskad genomsläpplighet i alven (30 - 100 cm) i jämförelse med matjorden (0 - 30 cm).

Vid fältmätningen av vattenhalten användes en jordborr med öppen cylinder eller en Ultunaborr för att ta jordprover på var tionde centimeter. Det togs även ut cylindrar för bestämning av markens fysikaliska egenskaper. Vattenhalterna användes till att bestämma det växttillgängliga vattnet och till att kalibrera simuleringsmodellen (SOIL). Väderdata för 1997 är hämtade från Jordberga sockerbruk för Kronoslätt och från Svalöv väderstation för Elvireborg. Vid simuleringarna har det använts dygnsmedelvärden för temperatur, nederbörd och solinstrålning. Beräkningarna har gjorts för vattenhaltsförändringen under 1997 och för perioden 1963 - 1988 med 1997 som kalibrering.

För jordarna beräknades också det maximala tryck som jorden kan utsättas för utan att packas, det s.k. förkonsolideringstrycket, enligt Casagrandes (1936). Förkonsolideringstrycket bestämdes för fyra tensioner och ett logaritmiskt samband togs fram mellan tension och förkonsolideringstryck. Från detta samband och vattenhaltsberäkningarna gjordes en riskkaly över packningskänsligheten hos jordarna på hösten.

Dessutom gjordes beräkningar av trycket i marken för en hjullast på åtta ton och 220 kPa markpackning, tänkt att motsvara körning med en fullastad sexradig betupptagare. Risk för packning ansågs föreligga när trycket på ett visst djup var högre än markens hållfasthet vid den vattenhalten.

I resultatet visas att spannmålen tar upp mindre mängd vatten än sockerbetorna och att sockerbetorna tar upp vatten under en längre period på året, beroende på den längre växtsäsongen. De uppmätta vattenhalterna var under slutet av sommaren lägre än de simulerade, vilket tyder på en avdunstning av vatten från profilen som gör att det försvinner mer vatten än det vatten som är växttillgängligt. Denna avdunstning var en av svårigheterna

att komma till rätta med i simuleringarna. I stort sett får det dock anses vara en god överensstämmelse mellan uppmätta och simulerade värden.

Det finns stora risker att man får markskador vid körning sent på hösten både på Elvireborg och på Kronoslätt. Från mitten av oktober var det hälften av åren en packningsrisk på 50 cm djup i alven. I resultaten över andel år som ger packskador syns att det på Elvireborg fanns även en större risk för packning under växtsäsongen än det fanns på Kronoslätt, vilket kan bero på att Kronoslätt har en mera kompakt profil som kan tåla en högre packning eftersom Kronoslätt har ett högre förkonsolideringstryck.

## Summary

This work is a part of a larger project together with Danisco Sugar AB, which tries to prevent compaction in the subsoil when using heavy sugar beet harvesters. The work is based on measuring the water content during a growing season (1997) and to calculate the water content with the simulation model SOIL. After that, the water content has been simulated from weather data for a longer period, and the risk for compaction in the autumn has been calculated.

Agriculture has gone through a lot of changes since the second world war, for example the machines have become larger and heavier. The purpose of the project was to examine how often soil compaction in the subsoil should arise by measuring and calculating the water content. We have measured the water content every 14<sup>th</sup> day during the growing season 1997 on two sites: Elvireborg east of Landskrona and Kronoslätt close to Hemmesdyngge in the very south of Sweden. At Elvireborg sampling was made in sugar beets and spring wheat, and at Kronoslätt in sugar beets and spring barley. The soil at Elvireborg is a sandy clay loam with a porosity of 38 % (vol/vol) with 18,4 % (vol/vol) water at permanent wilting point and 15,6 % plant available water. The soil has a good hydraulic conductivity in the topsoil (0 – 30 cm), but much lower in the lower part of the subsoil (60-100 cm). During dry summers the hydraulic conductivity will improve by crack formation. Kronoslätt is a sandy loam with a porosity of 36,7 % with 12,6 % (vol/vol) water at permanent wilting point and 20,9 % plant available water. Kronoslätt has a strongly reduced hydraulic conductivity in the subsoil (30 – 100 cm) in comparison with the topsoil (0 – 30 cm).

An opened cylinder drill or an Ultuna drill was used to take out the soil samples to determine the water content at every 10<sup>th</sup> centimeter to one meter depth. Soil cores were sampled to one meter depth to determine saturated hydraulic conductivity and soil water retention. The water content was used to calibrate the simulation model (SOIL). Weather data for 1997 was collected from Jordberga sugar factory for Kronoslätt and from Svalöv weather station for Elvireborg. In the simulations the daily mean values were used for temperature, precipitation and sun radiation. Calculations have been done for changes in water content in 1997 and for the period 1963 – 1988 with 1997 as a calibration year.

The precompression stress (Casagrande, 1936) was determined at four water tensions, and a logarithmic function was made between precompression stress and water tension. By combining this function with the soil water simulation, the susceptibility to compaction was estimated.

The cereal crops took up less water than the sugar beets, and the sugar beets took up water during a longer period of the year, depending on a longer growing season. In the end of July practically all plant available water in the profile had been used in 1997. The measured water content was sometimes below permanent wilting point and lower than the simulated values. However, in general there was good correlation between measured and simulated values.

Calculations were also made for the vertical soil stress in the soil, for a wheel load of 8 tonnes and 220 kPa ground contact pressure corresponding to a fully loaded sugar beet harvester. The soil was considered susceptible to compaction when the stress at a certain depth was higher than the precompression stress of the soil at that specific water content.

Driving late in the autumn involves a big risk of compaction of the subsoil both at Elvireborg and Kronoslätt. From the middle of October there was a compaction risk in the subsoil at 50 cm depth for half of the years. In the results over the whole year, the Elvireborg site was more susceptible to subsoil compaction than Kronoslätt. This could be due to Kronoslätt being a more compact soil with a higher precompression stress.

## Förord

Vi vill först frambringa vårt största tack till vår handledare för en god hand till hjälp och vägvisning. Vi vill också tacka Einar för all tid som han har lagt ned till hjälp och analyser. Vi vill även tacka resten av personerna på avdelningen för alltid en god pratstund.

## Inledning

Markpackning är i många fall inte bara ett svenskt problem, det finns många studier som visar att det finns problem med packning i större delen av västvärden där det används större maskiner. Packningen har visat sig påverka vatten-, värme- och gastransporterna i marken (Arvidsson och Pettersson 1995), även rotpenetrationen ( Taylor et al., 1996), och därigenom grödutvecklingen ( Håkansson et al., 1988). Assouline (1997) har simulerat markpackningens effekt på de fysikaliska och hydrauliska parametrarna och kommit fram till att packningen påverkar pF-kurvan upp till 1,5 MPa, vilket i sin tur påverkar den hydrauliska konduktiviteten. Packningen i matjorden reduceras i Sverige av den tjälprocess som finns vintertid och av den årliga bearbetningen. Packningen av matjorden ger därför oftast bara kortvariga effekter. På lång sikt kan alvpackning ge ett allvarligare problem genom att tjälen inte kommer åt att läka skadorna på samma sätt. Lantbrukare, skogsbrukare och andra som arbetar med växtodling har märkt att skördarna inte kommer upp i den grad som de tänkte med den behandling som växten har fått i form av gödsling och ogräsbekämpning. Markpackning anses därför vara ett multi-bransch problem där maskin/mark/växt/väder har betydande roll, och kan ge ekonomiska- och miljökonsekvenser för lantbruket i världen ( Soane och Ouwerkerk. 1994). Därför har markpackning tagits med i många investeringar de senaste åren, men det har främst varit packning av matjorden som varit intressant.

Ända sedan andra världskrigets slut har svenskt lantbruk gått mot allt större maskinstorlekar. Inom t.ex. betodling har det utvecklats större och större betupptagare och idag finns sexradiga betupptagare med en axelbelastning på närmare 20 ton. Många lantbrukare har sett problem med syrebrist som följd av packningskadorna, vilket har gjort att allt flera har intresserat sig för markpackning och markstruktur. Här är bara några av alla de frågor som har ställts under de senaste årens maskinutveckling.

Hur lång tid tar det innan marken återställer sig efter packskador?

Går det att göra något åt markskadorna?

Vad har hänt med marken?

Johan Arvidsson, avdelningen för jordbearbetning vid institutionen för markvetenskap, har tillsammans med Danisco Sugar AB utifrån dessa frågor forskat i hur marken packas av de nya betupptagarna i Skåne. Vi har som en del i detta stora projekt mätt och simulerat vattenhaltsförändringar under ett år för två olika grödor på två olika jordarter. Projektet är nu finansierat av SLF, tidigare av Stiftelsen Sockerbetsforskning.



## *Syfte*

Syftet med arbetet var att ta fram en "riskkalkyl" för jordpackning i alven vid körning av tyngre maskiner genom att:

1. Mäta vattenhalter ner till en meters djup i vårsäd och sockerbetor på två platser från sådd till skörd 1997.
2. Bestämna markens packningskänslighet vid olika vattenhalter.
3. Beräkna markvattenhalt med hjälp av modellen SOIL och jämföra de uppmätta och de beräknade värdena.
4. Beräkna markens vattenhalt och därmed dess packningskänslighet, för en följd av år utifrån väderdata.

Mätningarna under punkt ett finns också redovisat i: Meddelande från Jordbearbetningsavdelningen nr 25, 1998: Förändring i markvattenhalter vid odling av sockerbetor och vårstråsäd av Lennart Olsson och Patrik Persson.

## **Material och metoder**

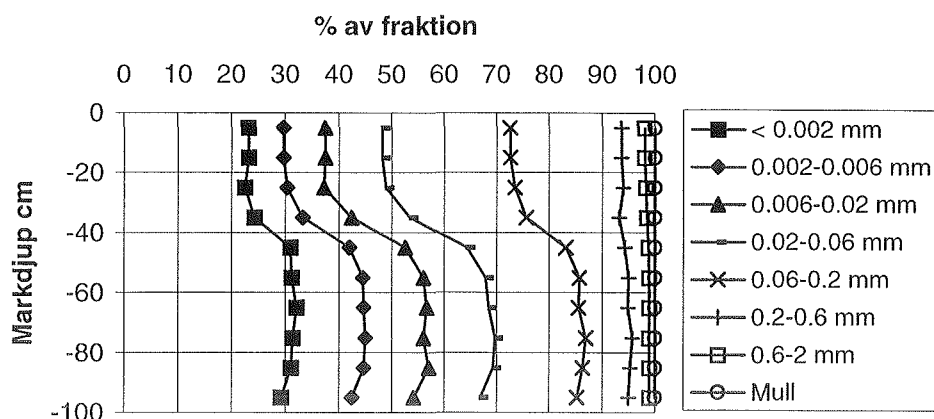
### *Försöksjordarna*

Arbetet har utförts på två skånska jordar, Elvireborg som ligger öster om Landskrona och Kronoslätt som ligger nära Hemmesdynge i södra Skåne. På Elvireborg gjordes mätningar i sockerbetor och vårvete, på Kronoslätt i sockerbetor och korn.

### *Textur och struktur*

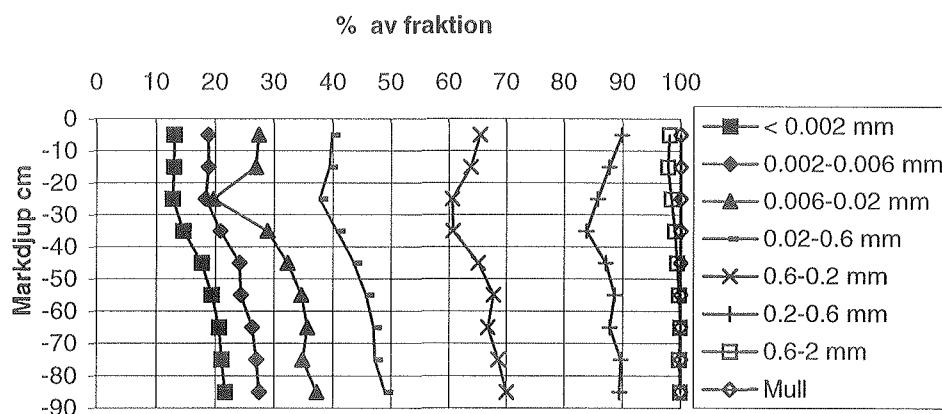
För texturanalysen togs det ut jordprover på var tionde centimeter som analyserades med pippettmetoden. En profil/fält analyserades.

Elvireborg är en varvig moränlera. Fältet är genomgående mullfattigt och ligger mellan två jordartsbälten, ett mera sandbetonat i sydväst och ett mera moränlättlera betonat i nordöst. I texturdiagrammet från Elvireborg, fig. 1, ses fördelningen av fraktionerna i profilens olika skikt. Jorden har en god aggregerad struktur och för att öka mullhalten i matjorden har lantbrukaren brukat ned halm och hönsgödsel.



Figur 1. Texturdiagram för Elvireborg.

Kronoslätt är en lerig mo i matjorden som övergår till en lättlera i alven, fig. 2. Jorden är genomgående mullfattig och har en tydlig enkelkornstruktur som gör att profilen blir kompakt, och den största rotutvecklingen sker i de många maskgångarna och sprickorna.



Figur 2. Texturdiagram för Kronoslätt.

### Vattenhållande förmåga och genomsläpplighet

För bestämningen av de fysikaliska egenskaperna tog det ut två cylindrar (72 mm i diameter, 50 mm höga) var tionde centimeter i profilen. Dessa användes till att bestämma porstorleksfördelningen och för att bestämma markens genomsläpplighet och torra skrymdensitet.

Elvireborg har en genomsnittlig porositet på 38,4 % (vol/vol) med 18,4 % ej upptagbart vatten och 15,6 % växttillgängligt vatten.

Kronoslätt har en större mängd växttillgängligt vatten. Porositeten är 36,7 % (vol/vol) med 12,6 % ej upptagbart vatten och 20,9 % växttillgängligt vatten.

Kronoslätt har en kraftig minskning av genomsläppligheten i skiktet 40-50 cm (tabell 1), vilket är hämmande för vattentransporten och rotutvecklingen.

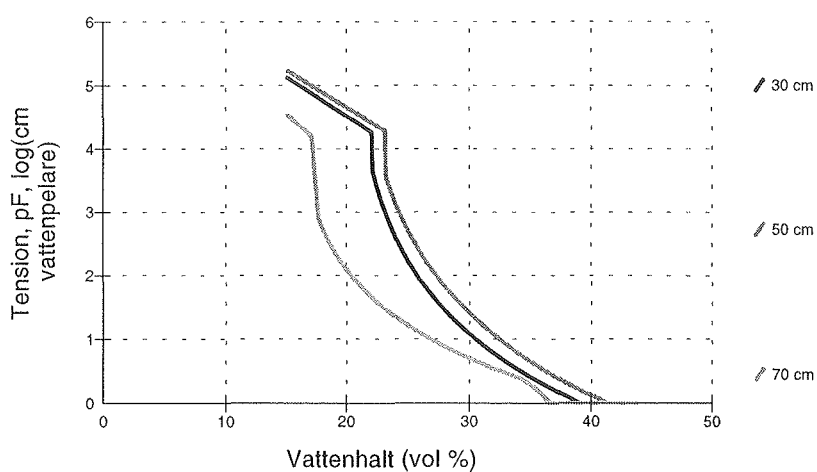
Elvireborg visar en god genomsläpplighet i de översta skikten men det är en låg genomsläpplighet i plogsulan och nedre delen av alven. Under torra somrar förbättras dock genomsläppligheten genom att det bildas stora sprickor som leder regnvattnet snabbt ned till alven. Genomsläppligheten för Elvireborg redovisas i tabell 1.

### Markens vattenhållande förmåga

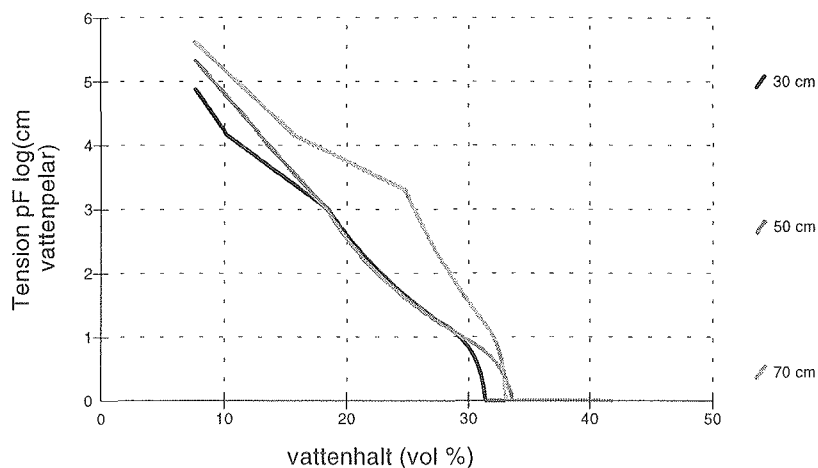
I fig. 3 och 4 redovisas pF-kurvor för 30, 50 och 70 cm djup för Elvireborg respektive Kronoslätt

Tabell 1. Genomsläpplighet för Elvireborg och Kronoslätt

Djup cm	Genomsläpplighet Elvireborg cm/dygn	Genomsläpplighet Kronoslätt cm/dygn
0-10	109,04	129,68
10-20	32,04	20,42
20-30	15,84	23,87
30-40	23,68	51,69
40-50	15,52	1,35
50-60	24,10	6,98
60-70	5,45	1,03
70-80	3,64	1,75
80-90	6,21	2,45
90-100	1,04	0,53



Figur 3. Pf- kurva för 30, 50 och 70 cm djup på Elvireborg.



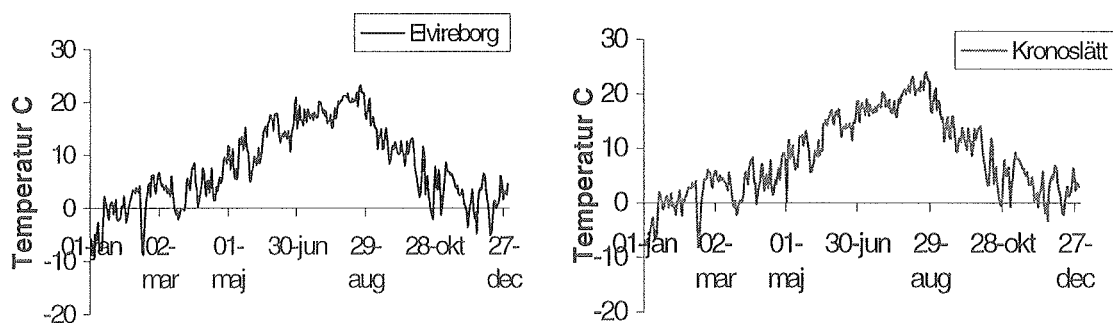
Figur 4. Pf- kurva för 30, 50 och 70 cm djup på Kronoslätt.

#### *Vattenhaltsprovtagning och mätning av rotutvecklingen och beståndets slutenhet*

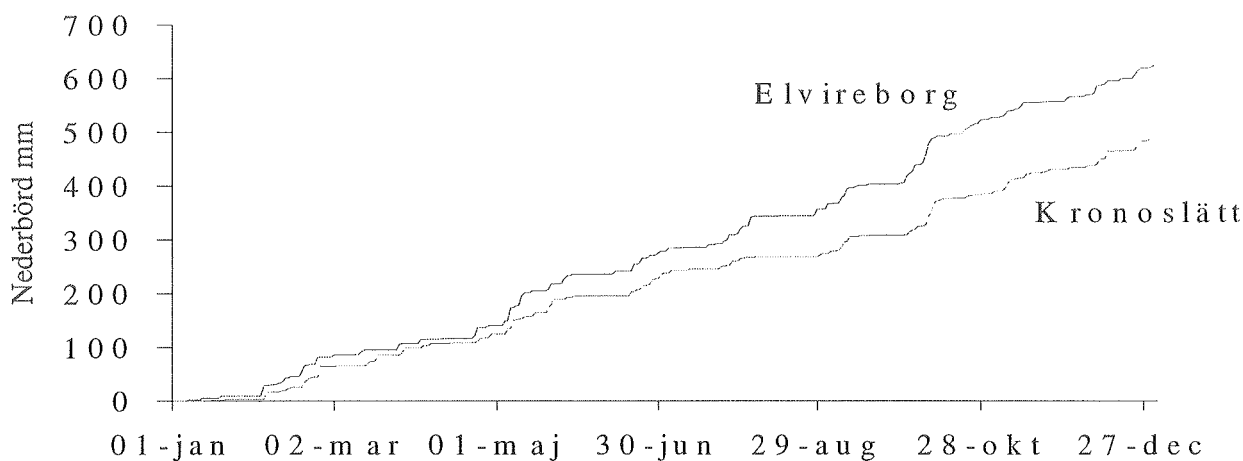
Provtagningen skedde till en början med en s.k. Ultunaborr som fungerar så att en kon formar jorden till en cylinder med en diameter som är något mindre än det uppsamlingsrör som slås ned. Senare under säsongen användes till stor del en jordborr med öppen cylinder. Båda drogs upp med domkraft. Provtagningen gick till på så sätt att först togs ett prov på matjorden ( 0-25 cm ) och sedan togs ett nytt prov i samma stickhål i alven ( 25- 100 cm ). Därefter fördelades jorden med kniv och tumstock i tiocentimetersskikt. Det togs fem stick per prov och tre prov per provtillfälle, men senare på sommaren togs endast ett prov på grund av den hårdhet marken fick efter upptorkandet. Provtagningen skedde från såtid till dess att grödan skördades med ett intervall på 14 dagar, plus minus någon dag beroende på vädret. De insamlade jordprovernas vattenhalt analyserades genom vägning före och efter torkning vid 105 ° C i tre dygn. Mätningen av rotutvecklingen skedde samtidigt som provtagningen av vattenhalter utfördes och genomfördes genom att i en grop ta bort ett skikt av jord längs ena väggen och mäta hur långt rötterna hade växt nedåt. Beståndets slutenhet bestämdes genom okulär bedömning av hur stor del av ytan som var täckt av växtlighet.

## Väderdata 1997

Väderdata är hämtade från Jordberga sockerbruk för Kronoslätt och från Svalöv väderstation för Elvireborg. Vi har använt oss av dygnsmedelvärdet för temperaturen, nederbörd och solinstrålning. Temperaturen och nederbörden 1997 redovisas i fig. 5 respektive fig. 6.



Figur 5. Temperatur för Elvireborg (vänster) och Kronoslätt (höger) 1997.



Figur 6. Nederbörden för Elvireborg och Kronoslätt 1997.

## Simuleringar av vattenhalter

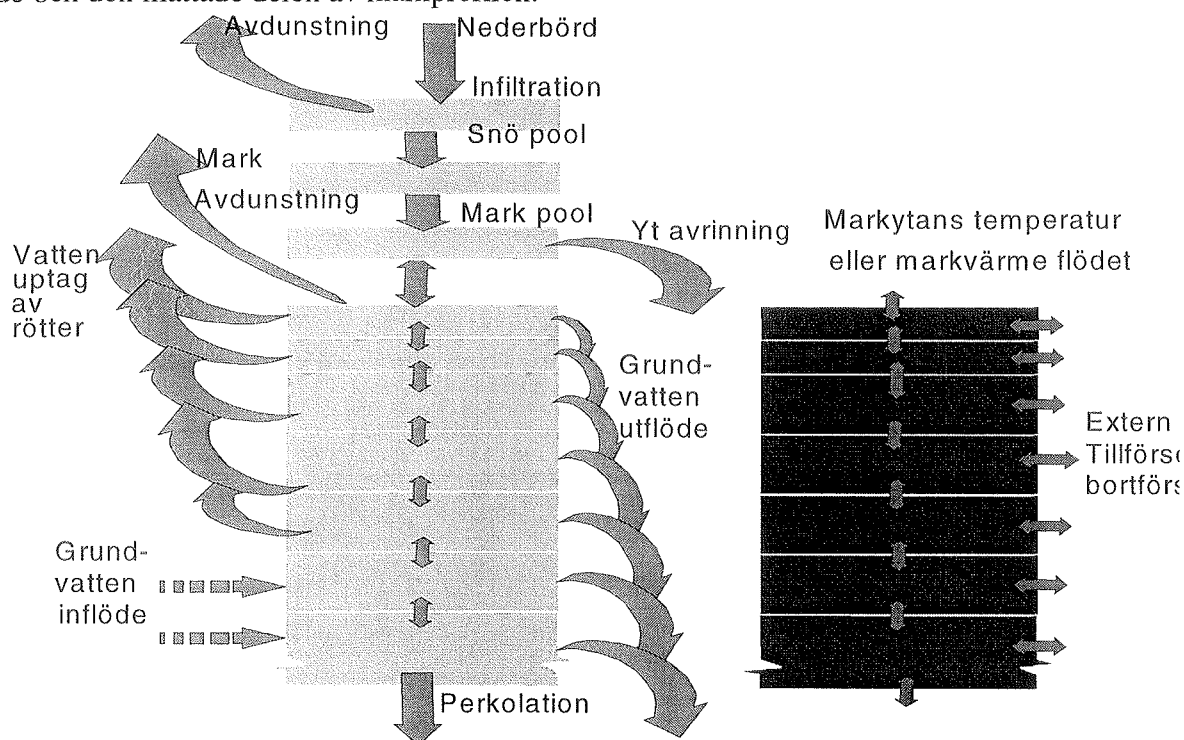
I det här avsnittet beskrivs simuleringsmodellen, hur den fungerar och hur den kalibrerades för de olika platserna. Vi har använt oss av en simuleringsmodell för vattenhalter och sedan gjort omvandlingar för packningskänsligheten vid olika tidpunkter. Kronoslätt har använts som kalibrering och Elvireborg som validering. Det går lättast att jämföra simuleringarna i sockerbetsodling genom att det är samma gröda och då är färre parametrar förändrade mellan simuleringarna.

## SOIL-modellen

### Beskrivning av modellen

Vid simuleringarna har modellen SOIL (Jansson 1991) använts för att simulera vattenhalterna i de olika skikten. SOIL är en matematisk modell som används för att beräkna flöden och lagring av vatten i systemet mark – växt – atmosfär som utgår från fysikaliska principer och mer eller mindre kända kunskaper om de fysikaliska processerna.

SOIL-modellens struktur utgår ifrån att marken är uppdelad i ett antal skikt som behandlas separat för vatten och värme. För att beskriva gränssytorna till marken behandlas också vegetation, snötäcke och eventuell vattenanhopning på markytan. Markens inkluderar både den omättade och den mättade delen av markprofilen.



Figur 7. Vattenflöden (till vänster) och värme flöden (till höger) i SOIL-modellen.

SOIL-modellen representerar en endimensionell modell för vatten- och värmedynamiken i en lagrad markprofil täckt med vegetation. Avdelningar för snö, infiltration av vatten och markytans förändringar är inkluderade för processerna i det övre markskiktet. Modellen kan också ta hänsyn till t.ex. grundvattenflöden. Modellen utgår från de partiella differentialekvationer som beskriver vatten- och värme flöden i en markprofil. Ekvationen löses med finita element metoden, en numerisk teknik där derivator med avseende på djupet och på tiden approximeras med små differenser vilket gör att profilen är uppdelad i ett bestämt antal lager (fig. 7). Vattenflödet,  $q_w$  och värme flödet,  $q_h$ , är baserade på två kopplade differentialekvationer deriverade från Darcys lag och Fouriers lag. Snabbt vattenflöde i makroporer kan beskrivas genom att använda en enkel beskrivning av bypass flöde. Modellen är i detalj beskriven av Jansson (1991). Markhydrologiska parametrar karakteriseras av pF-kurvan ( $\psi = f(\theta)$ ) enligt Brooks och Coreys (1964) beskrivning. Den omättade konduktiviteten beskrivs enligt Mualem (1976), ( $k_w = k_{mat} S_e^{(n+2+2/\lambda)}$ ) där  $k_w$  är den omättade

konduktiviteten och  $k_{mat}$  är den mättade konduktiviteten för de texturella porerna.  $S_e$  är den effektiva mätnaden där  $n$  är slingrighetsfaktor och  $\lambda$  är porstorleksfördelningsindex. En enkel log-linjär funktion av den volumetriska vattenhalten används för makroporområdet närmast mätnad.

Beräknad transpiration, markavdunstning och avdunstning från växtlighet beräknas med Penmans potentiella kombinationsekvation i utförande enligt Monteith (1965). Verklig transpiration beräknas från djupdistribuering av rötter, marktemperatur och markvattens tension.

### Parameterisering

I tabell 2 och 3 redovisas de switchar och parametrar som kalibrerades fram vid simuleringarna av grödorna.

Tabell 2. Parametrar som använts vid simuleringarna

Parametrar	Parameter värde Elvireborg		Parameter värde Kronoslätt		Enhet
	Vårvete	Sockerbetor	Korn	Sockerbetor	
Interception WaterCapacityPerLAI	0,5				MM/M <sup>2</sup>
Plant					
AlbedoLeaf	23	25	25	25	%
RootFracExpTail	0,2	0,2	0,2	0,2	-
Soil heat flows SoilInitTempConst	4	4	4	4	° C
Soil evaporation PsiRs_3pfl			0,1		-
Drainage and deep percolation DrainSpacing			18	18	M
Water uptake CritThresholdDry		200	200	200	cm water
DemandRelCoef			0	0	l/day
FlexibilityDegree			1		-
InitialGroundWater		-2	-0,5	-2	M
Soil water flows InitialWaterContent	40	40	40	40	vol %

Tabell 3. Switchar som använts vid simuleringarna

Switch	Switch värde <b>ELVIREBORG</b>		Switch värde Kronoslätt	
	Vårvede	Sockerbetor	Korn	Sockerbetor
Interception	On	On	On	On
PrecInterception	On	On	On	On
Meterological Data	Generated by parameters	Generated by parameters	Generated by parameters	Generated by parameters
CloudInput	Read from PG-file <sup>a)</sup>	Read from PG-file <sup>a)</sup>	Read from PG-file <sup>a)</sup>	Read from PG-file <sup>a)</sup>
PrecInput	Annual	Annual	Annual	Annual
TempAirCycle	Read from PG-file <sup>a)</sup>	Read from PG-file <sup>a)</sup>	Read from PG-file <sup>a)</sup>	Read from PG-file <sup>a)</sup>
TempAirInput	Not used	Not used	Not used	Not used
VapourAirInput	Not used	Not used	Not used	Not used
Model Structure	Radiation input style	Simple input style	Radiation input style	Simple input style
Evaporation	On	On	On	On
GroundWaterflow	On	On	On	On
Heatpump	Estimated	Estimated	Estimated	Estimated
PlantType	Explicit one big leaf	Implicit big leaf	Explicit one big leaf	Implicit big leaf
SnowPack	On	On	On	On
SoilVapour	Soil-and	Soil-and	Soil-and	Soil-and
	SnowVapourflow	SnowVapourflow	SnowVapourflow	SnowVapourflow
TimeResolution	Daily mean values	Daily mean values	Daily mean values	Daily mean values
WaterEq	On	On	On	On
Soil evaporation	PM-eq, Rs(3Par)	PM-eq, Rs(3Par)	PM-eq, Rs(3Par)	PM-eq, Rs(3Par)
Evaporation method	F(PM-equation)	F(PM-equation)	F(PM-equation)	F(PM-equation)
Surface temperature				
Radiation properties	Two separate formulas	Two separate formulas	Two separate formulas	Two separate formulas
LongWaveBalance				
Drainage and deep percolation	Seepage Flow	SeepageFlow	Seepage Flow	Seepage Flow
LboundSaturated	Hooghoudt Model	Hooghoudt Model	Hooghoudt Model	Hooghoudt Model
PhysicalDrainEq	On	On	On	On
ReturnFlow	On	On	On	On
Water uptake	Without flexible roots			
DemandRedistribution				
Soil water flows	Bypass Flow	Bypass Flow	Bypass Flow	Bypass Flow
Crack	Uniform Water content	Uniform Water content	Uniform Water content	Uniform Water content
Initial water conditions				

<sup>a)</sup> användning av uppmätta värden från väderstationerna



### *Kalibrering av SOIL -modellen för 1997.*

För att få en modell som fungerar bra har modellen kalibrerats för ett känt år (1997) med data för vattenhalter och väder. I det här avsnittet beskrivs hur modellen kalibrerats för de två platserna. På samma fält har endast grödrelaterade parametrar ändrats, medan det mellan de två olika fälten även har gjorts förändringar i de markrelaterade parametrarna. Väderdata har hämtats från närliggande väderstationer: Svalöv Weibulls väderstation för Elvireborg och Jordberga sockerbruk för Kronoslätt.

#### *Grödrelaterade parametrar*

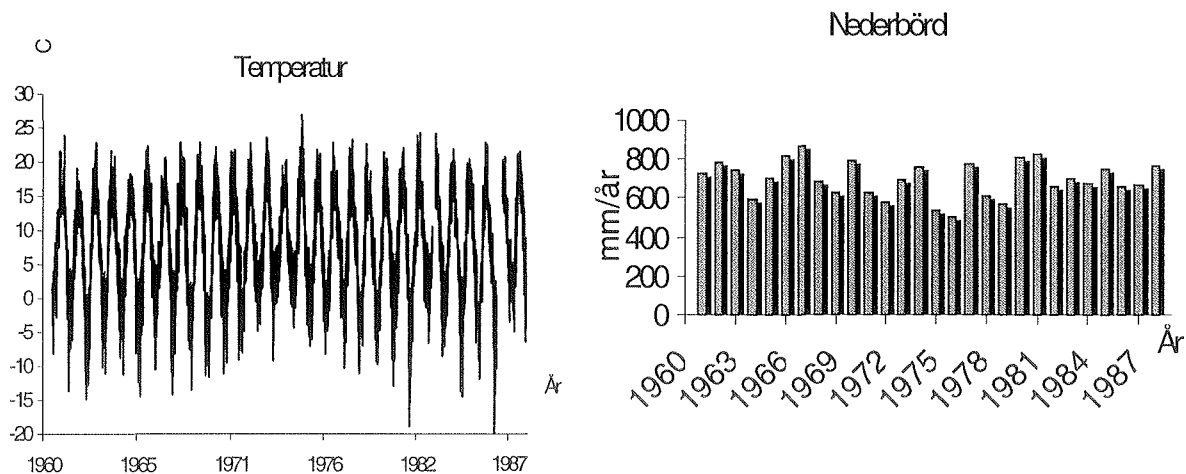
De grödrelaterade parametrarna justerades efter vilka parametrar som var relevanta för simuleringen och därigenom vattenhaltsflöden i marken. De mest avgörande är bladyteindex (LAI) och rotutveckling som även studerades i fält. Resterande parametrar har antagits från litteratur eller så har modellens standardvärden använts. Sockerbetorna har justerats utifrån det att de har haft olika tillväxt på de två fälten. Sockerbetorna var snabbare igång på Elvireborg än på Kronoslätt. Sockerbetsbeståndet slöts strax efter midsommar på Elvireborg och i mitten av juli på Kronoslätt. Sockerbetornas rotutveckling sker betydligt fortare än bladutvecklingen enligt Larsson et al. (1996). Rötterna sägs generellt växa 1,5 cm/dag efter de första 40 dygna. P.g.a. betornas långsamma tillväxt har även LAI antagits som långsamt ökande tills beståndet slutet sig.

De värden som används för rotdjup är uppmätta medan de värden som används för bladyteindex är skattade utifrån fältens slutenhet under året.

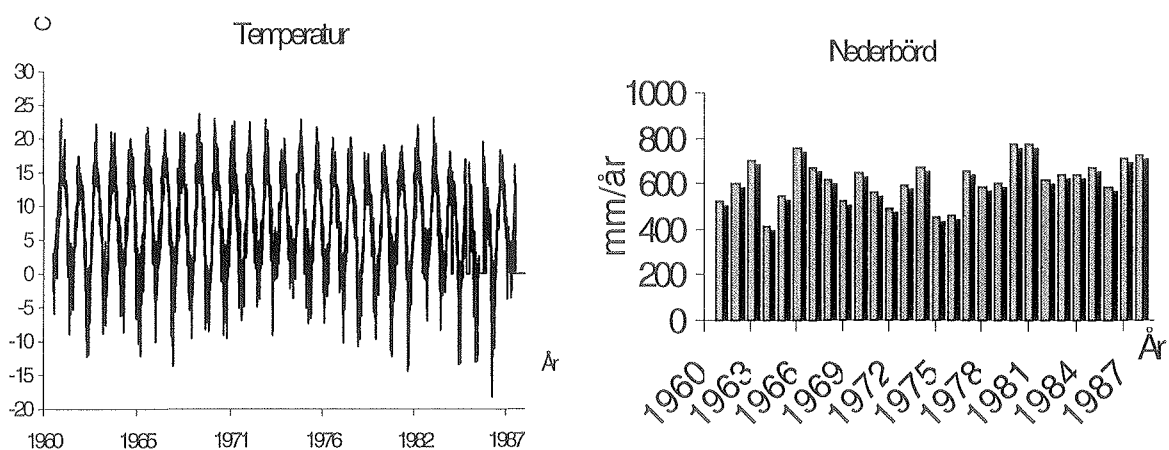
Spannmålsgrödorna har studerats mera än sockerbetor i tidigare simuleringar vilket resulterar i att de fanns väl utprovade i databasen till SOIL. Men även grödparametrarna för spannmål justerades så att de anpassades för de fält där försöken låg.

### *Simulering av vattenhalten under perioden 1963 -1988.*

Vid simuleringen under en längre tidsperiod användes de jordar som kalibrerats. Till dessa användes väderleksförhållandena under den period som simuleringen har utförts på. Temperaturen och nederbörden för Elvireborgs väderstation Svalöv redovisas i fig. 8.



Figur 8. Temperatur och nederbördsmängd under åren 1963-1988 för Elvireborg.



Figur 9. Temperatur och nederbördsmängd under åren 1963-1988 för Kronoslätt.

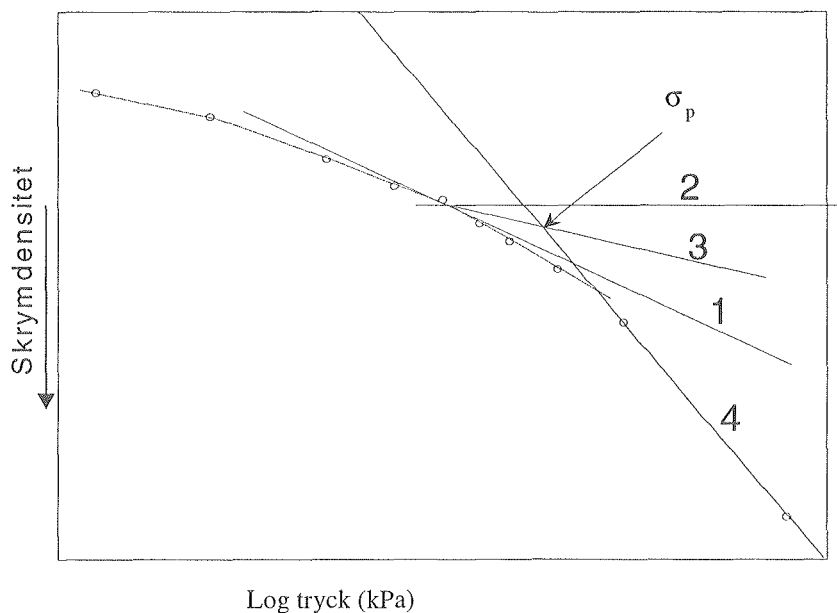
För Kronoslätt har använts väderdata från Jordberga väderstation för nederbörd och för temperaturen fram till 1974, medan det mellan åren 1974 och 1988 har använts väderdata från Smygehuk väderstation (fig. 9). För att underlätta simuleringarna har det antagits att det har varit en och samma gröda under hela tiden.

## Simuleringar av mekaniska hållfastheten

Förhållandet mellan logaritmen av det tryck som en jord utsätts för och den deformation som marken får är enligt Larsson och Gupta (1980) ett teoretiskt linjärt förhållande, om marken aldrig tidigare har ansatts med något tryck och allt tryck leder till en icke elastisk deformation. Men när trycket är lägre än det maximala tryck som jorden har utsatts för tidigare (förkonsolideringstrycket) är deformationen relativt liten och huvudsakligen elastisk. Om jorden ansätts med ett tryck som är större än förkonsolideringstrycket kommer det att ske en större deformation som till viss del inte är elastisk (Dias Junior, 1995), vilket leder till att marken blir packad. Deformationen beskrivs ofta grafiskt med ett förhållande mellan

logaritmen av det tryck som använts och någon packningsparameter, oftast skrymdensitet eller portal. Skrymdensiteten har använts vid skattningen av förkonsolideringstrycket.

En grafisk och regressions process har använts för att bestämma förkonsolideringstrycket ( $\sigma_p$ ) enligt Casagrande (1936), och illustreras i Figur 10. Casagrandes metod är framtagen för att beräkna förkonsolideringstrycket i en mättad jord, men går att använda även på en omättad jord enligt Dias Junior (1995).



Figur 10. Illustration av Casagrandes metod för att bestämma förkonsolideringstrycket ( $\sigma_p$ ) från en jords deformationskurva. Enligt denna metod ritas tangenten (1) till den punkt där kurvan har högsta lutningen, därefter ritas bisektorn (halva vinkelns linje) (3) mellan denna tangentens linje och en horisontell linje (2). Förkonsolideringstrycket är den punkt där bisektrisen skär en regressionlinje (4) för en linjär del av kurvan.

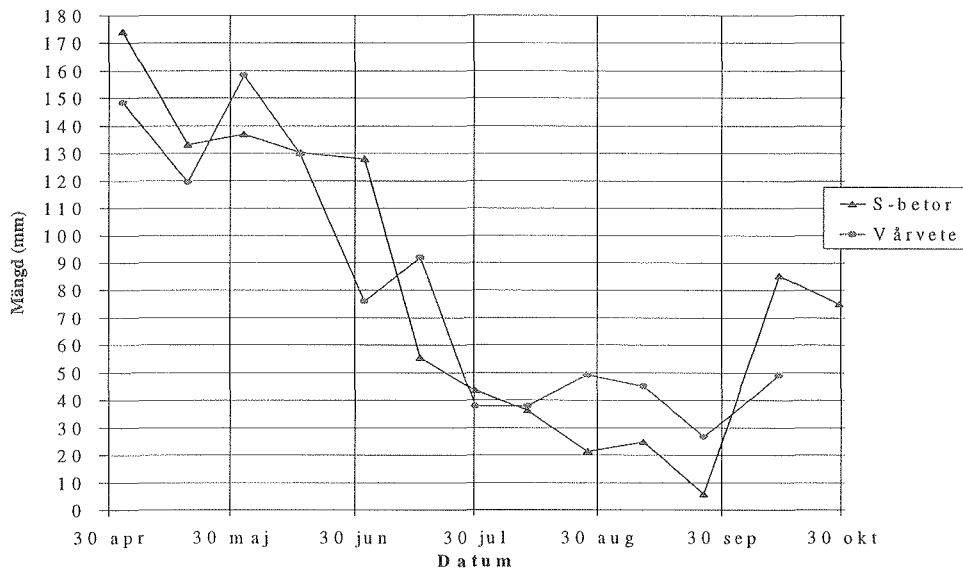
Förkonsolideringstrycket har bestämts för 30, 50 och 70 cm djup på båda platserna vid 4 olika tensioner, 60, 300, 600 och 1500 cm v.p. Dessa förhållanden är specifika för varje jord och djup eftersom de beror starkt på hur jorden är bearbetad och hur den är sammansatt.

För att beräkna risken för packning beräknades trycket i marken för en hjullast på åtta ton och 220 kPa marktryck, vilket är tänkt att motsvara körning med en fullastad sexradig betupptagare. Risken för packning ansågs föreligga när trycket på ett visst djup var högre än markens hållfasthet vid den vattenhalten. Det beräknade trycket på 30, 50 och 70 cm djup var 175, 125 och 90 kPa.

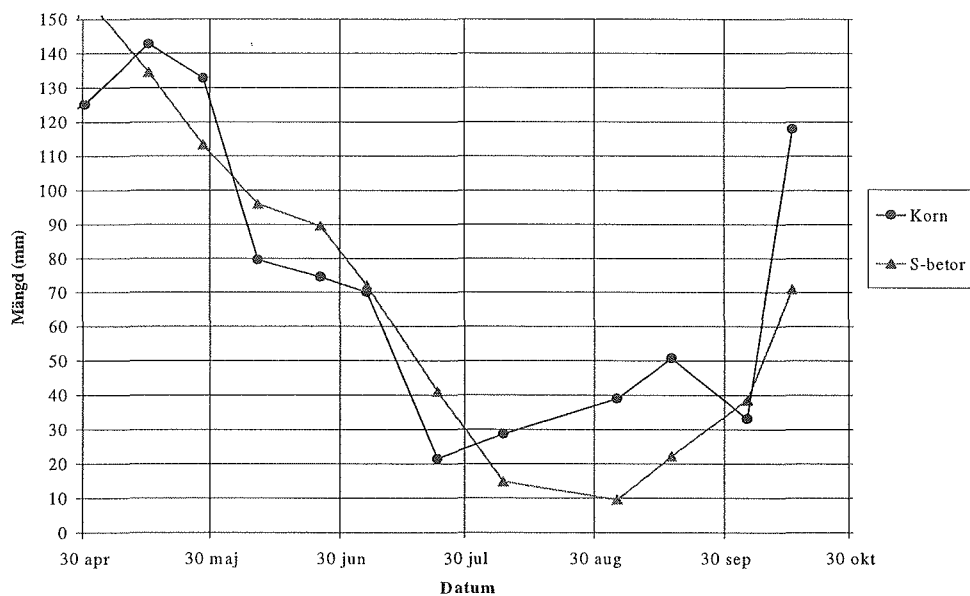
## Resultat

### Växttillgängligt vatten

Det växttillgängliga vattnet tas fort upp av grödorna fram till slutet av juli. Därefter fortsätter sockerbetorna att ta upp vatten till mitten av augusti, och marken har sitt minsta vatteninnehåll från slutet av augusti till mitten av september ( fig. 11 för Elvireborg och fig. 12 för Kronoslätt).

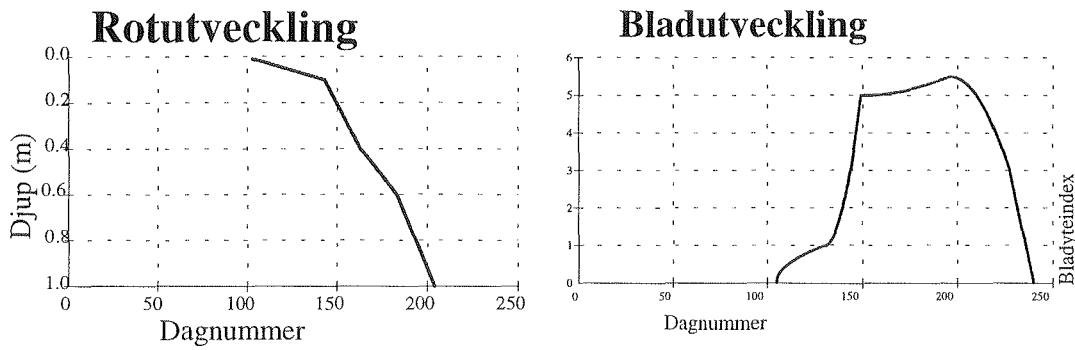


Figur 11. Total mängd växttillgängligt vatten under växtodlingssäsongen till en meters djup i markprofilen, Elvireborg.

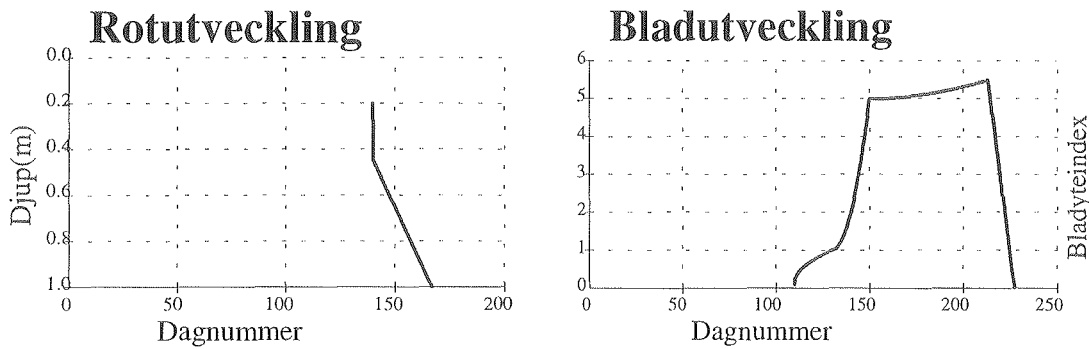


Figur 12. Total mängd växttillgängligt vatten under växtsäsongen till en meters djup i markprofilen, Kronoslätt.

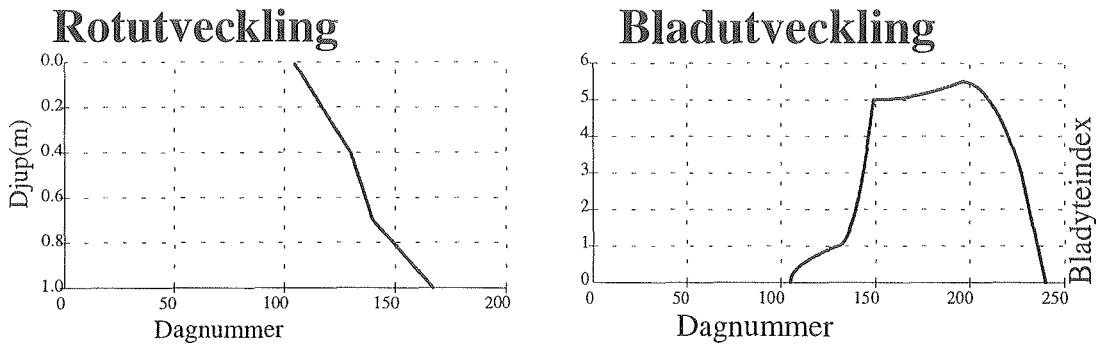
## Grödutveckling



Figur 13. Rotutveckling för betor enligt mätning i försöket, bladyteindex skattat från beståndets slutenhet i fält, både för Elvireborg och Kronoslätt. Ett medel har använts för rotutvecklingen och bladytan eftersom skattningen var relativt osäker.



Figur 14. Rotutveckling för korn enligt mätning i försöket, bladyteindex skattat från beståndets slutenhet i fält på Kronoslätt.

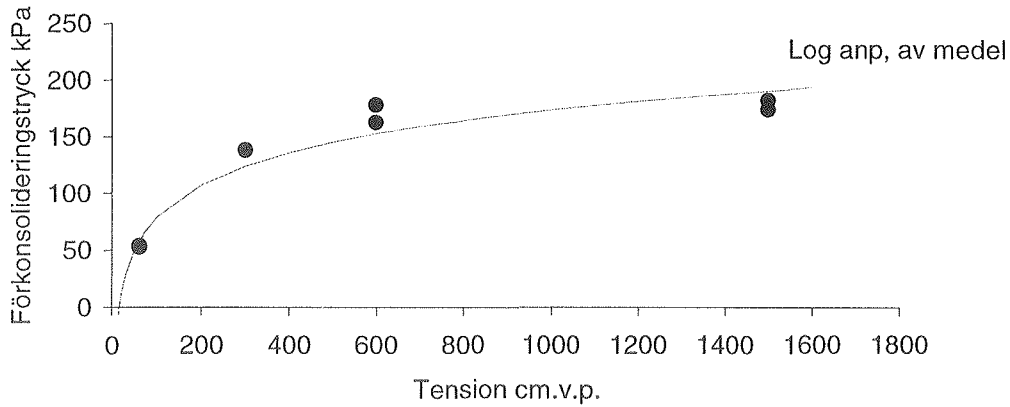


Figur 15. Rotutveckling för vårvete enligt mätning i försöket, bladyteindex skattat från beståndets slutenhet i fält på Elvireborg.

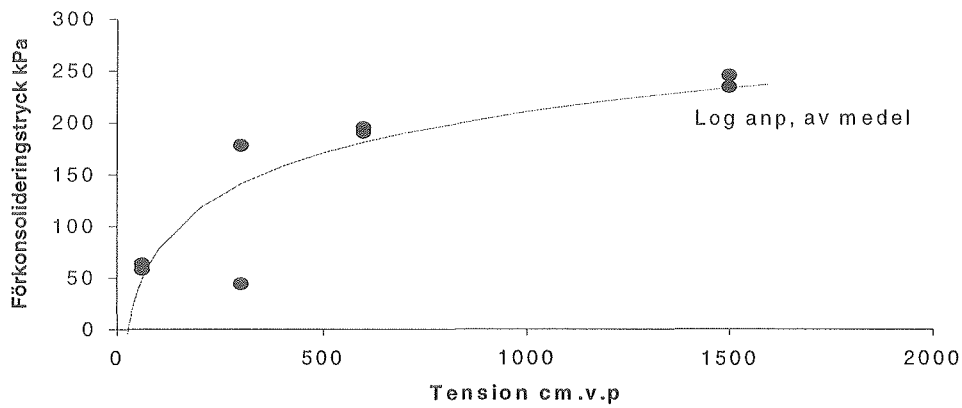
*Markens mekaniska hållfasthet*

*Kronoslätt*

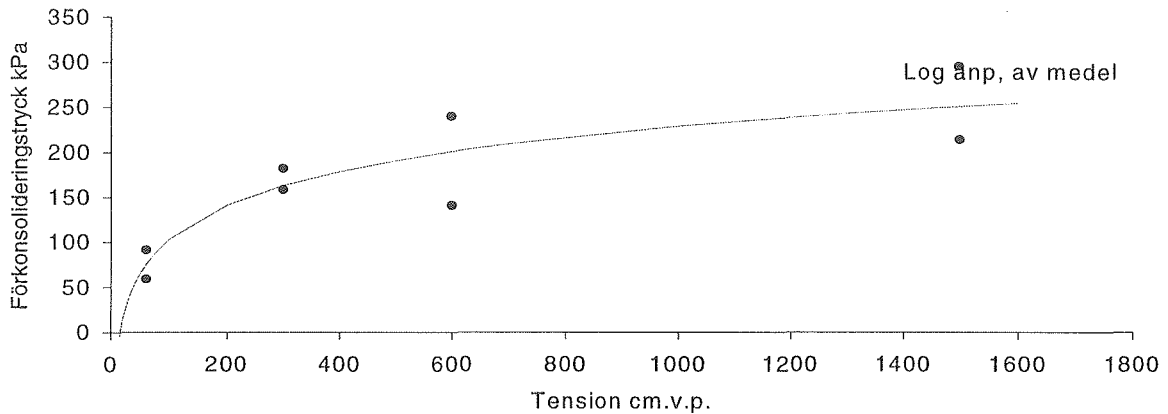
I figur 16 – 18 visas förhållandet mellan tension och förkonsolideringstryck för Kronoslätt.



Figur 16. Förhållande mellan tension och förkonsolideringstryck vid 30 cm djup på Kronoslätt.



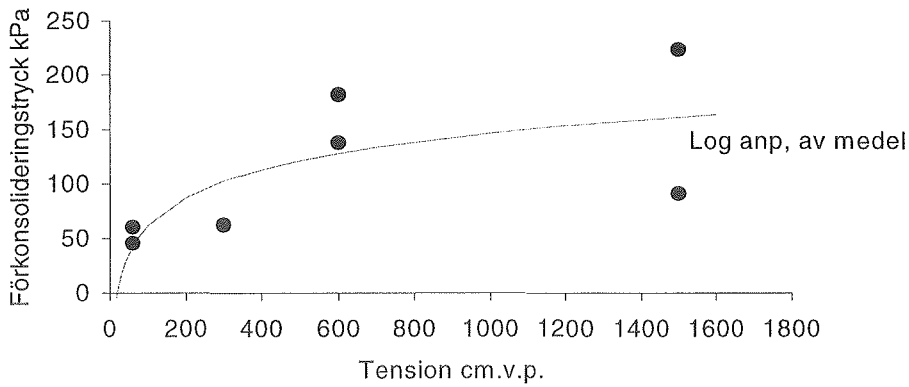
Figur 17. Förhållande mellan tension och förkonsolideringstryck vid 50 cm djup på Kronoslätt.



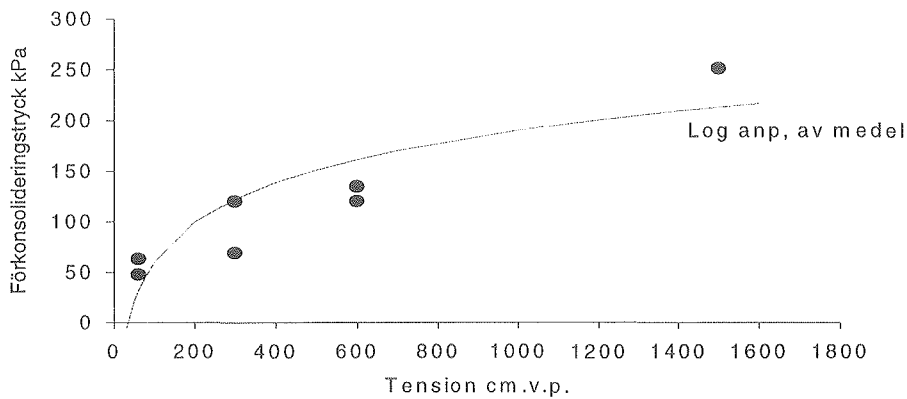
Figur 18. Förhållande mellan tension och förkonsolideringstryck vid 70 cm djup på Kronoslätt.

## Elvireborg

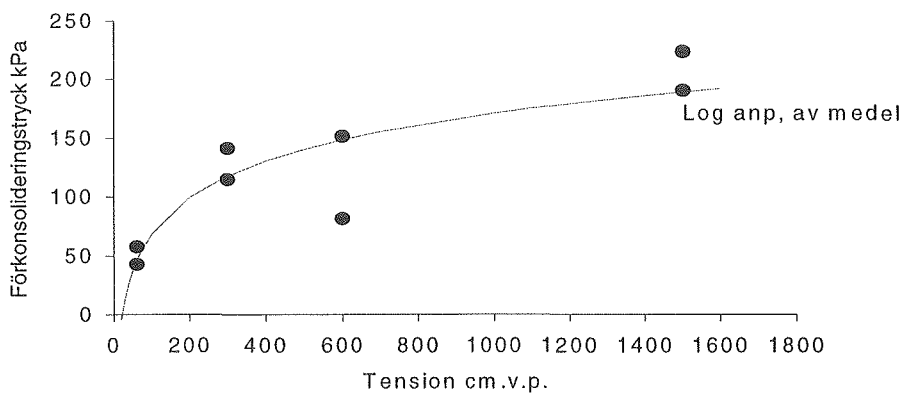
I figur 19 – 21 visas förhållandet mellan tension och förkonsolideringstryck för Elvireborg.



Figur 19. Förhållande mellan tension och förkonsolideringstryck vid 30 cm djup på Elvireborg.



Figur 20. Förhållande mellan tension och förkonsolideringstryck vid 50 cm djup på Elvireborg.

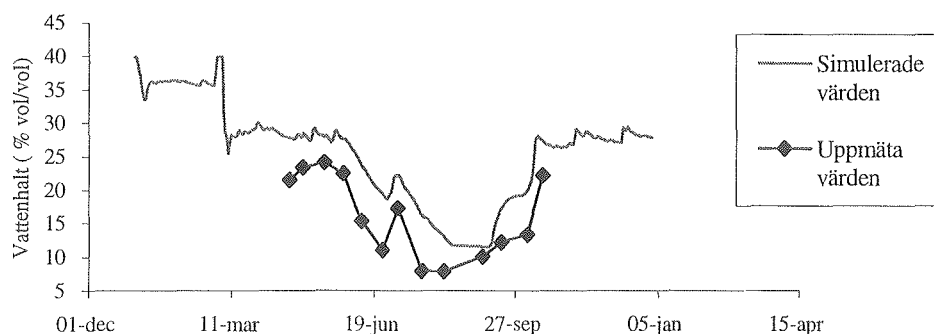


Figur 21. Förhållande mellan tension och förkonsolideringstryck vid 70 cm djup på Elvireborg.

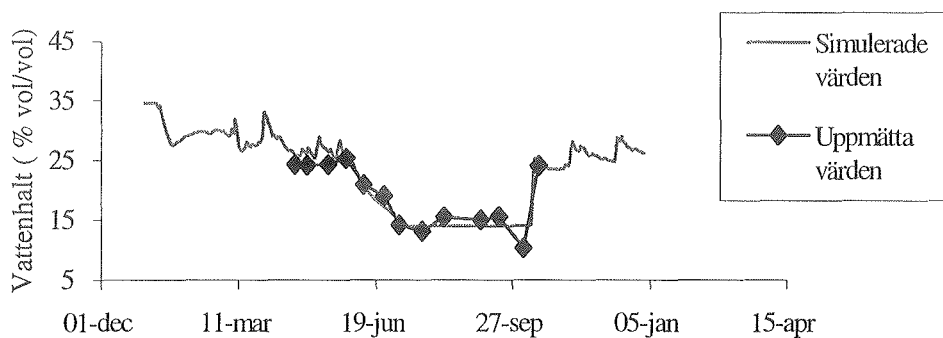
## Kalibrering av SOIL modellen

### Kronoslätt

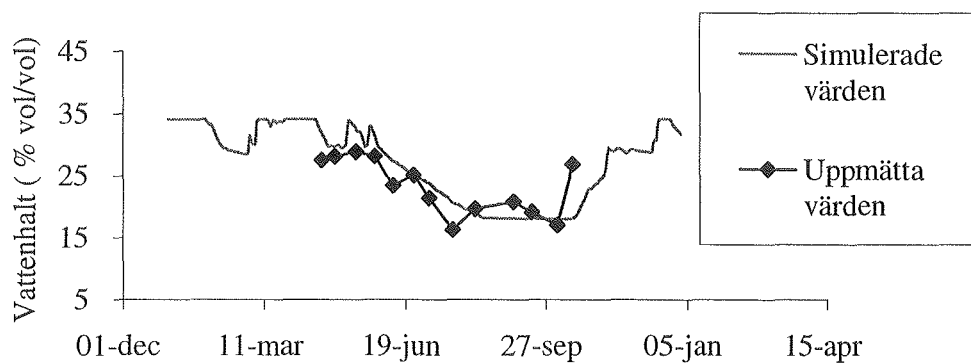
Uppmätta och simulerade vattenhalter i tre skikt vid odling av korn på Kronoslätt visas i fig. 22 –24. I fig. 25 – 27 visas överensstämmelsen mellan simulerade och uppmätta värden vid odling av sockerbetor.



Figur 22. Vattenhalter på 30 cm djup för Kronoslätt och korn.

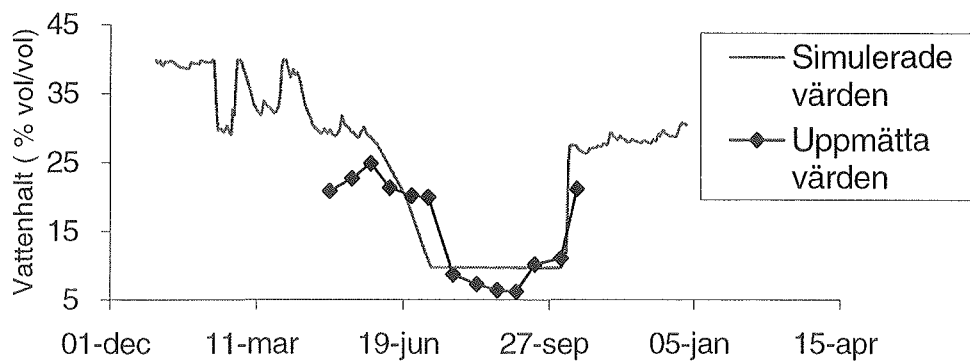


Figur 23. Vattenhalter på 50 cm djup för Kronoslätt och korn.

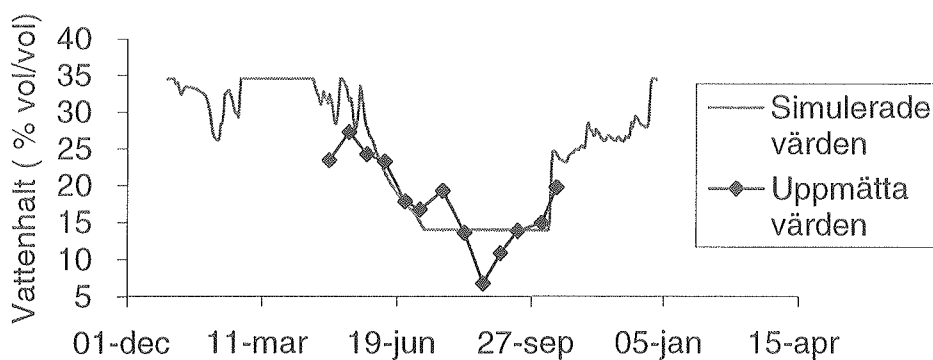


Figur 24. Vattenhalter på 70 cm djup för Kronoslätt och korn.

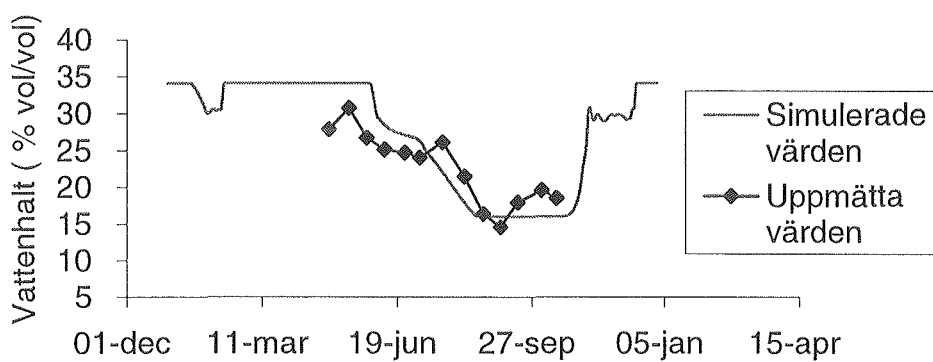




Figur 25. Vattenhalter på 30 cm djup för Kronoslätt och sockerbetor.



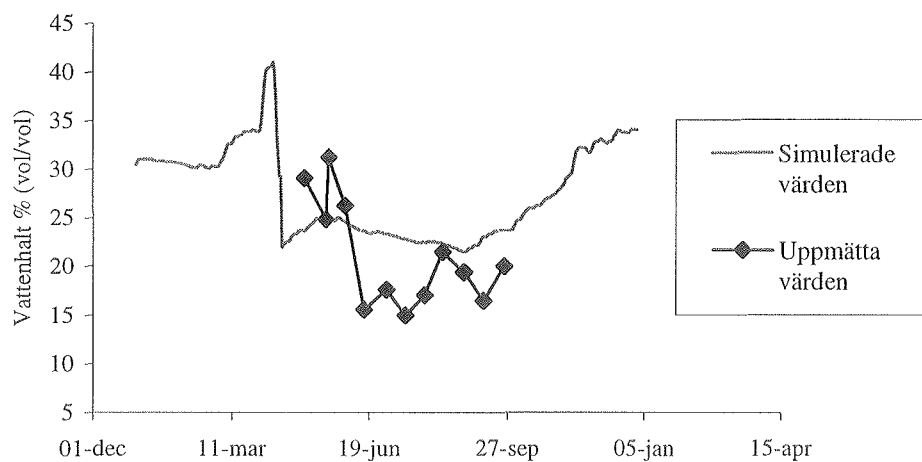
Figur 26. Vattenhalter på 50 cm djup för Kronoslätt och sockerbetor.



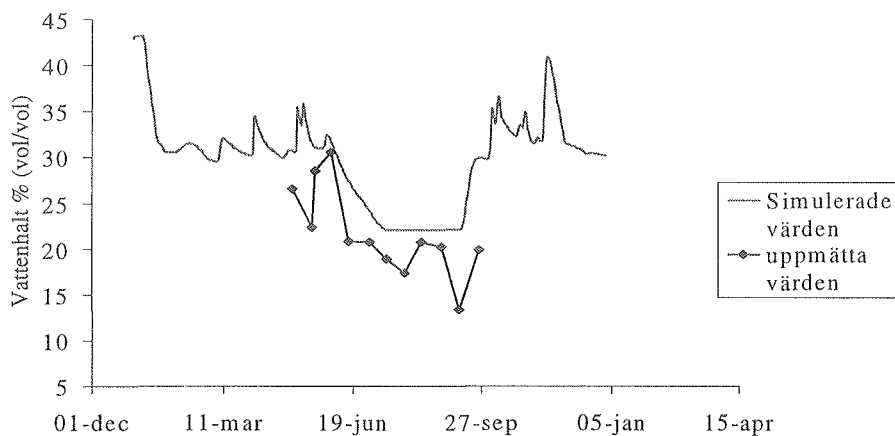
Figur 27. Vattenhalter på 70 cm djup för Kronoslätt och sockerbetor.

## Elvireborg

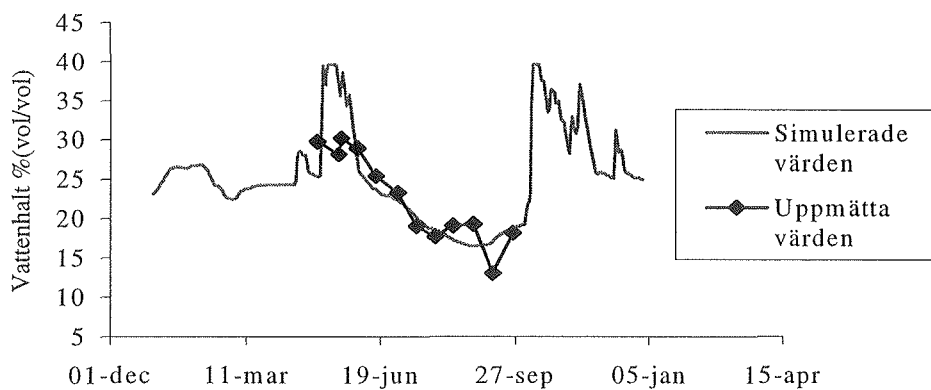
Uppmätta och simulerade vattenhalter i tre skikt vid odling av korn på Elvireborg visas i fig. 28 – 30. I fig. 31 – 33 visas överensstämmelsen mellan simulerade och uppmätta värden vid odling av sockerbetor.



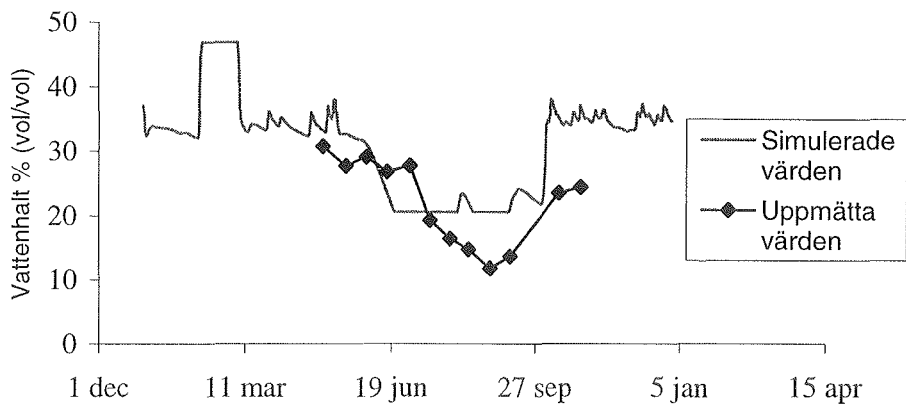
Figur 28. Vattenhalter på 30 cm djup för Elvireborg och vårvete.



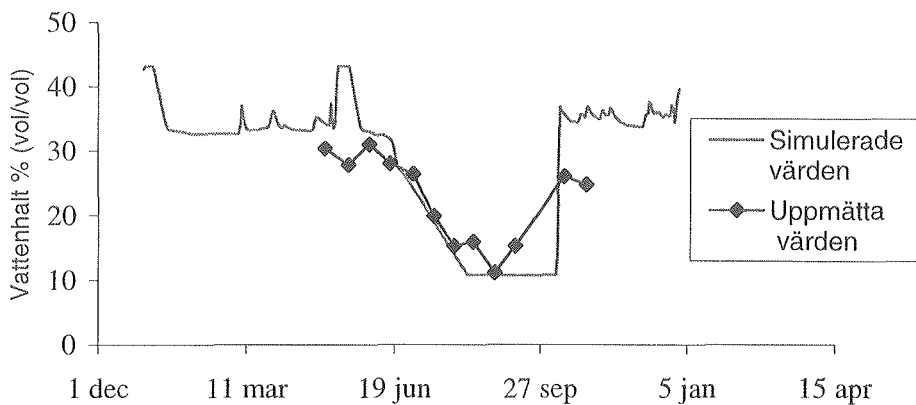
Figur 29. Vattenhalter på 50 cm djup för Elvireborg och vårvete.



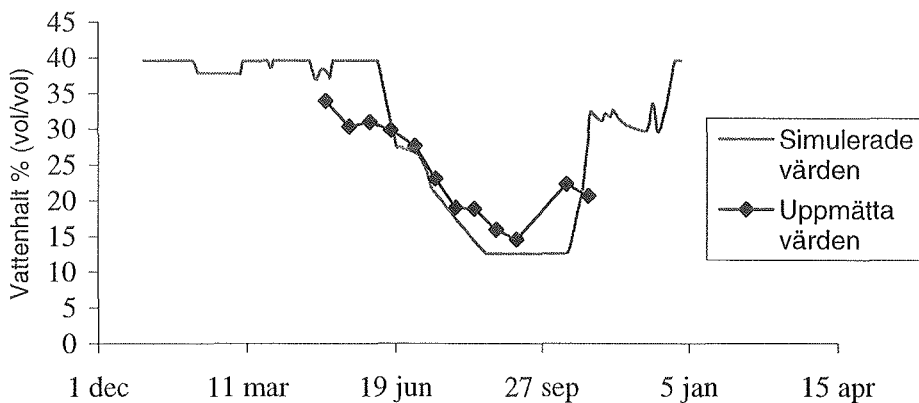
Figur 30. Vattenhalter på 70 cm djup för Elvireborg och vårvete.



Figur 31. Vattenhalter på 30 cm djup för Elvireborg och sockerbetor.



Figur 32. Vattenhalter på 50 cm djup för Elvireborg och sockerbetor.

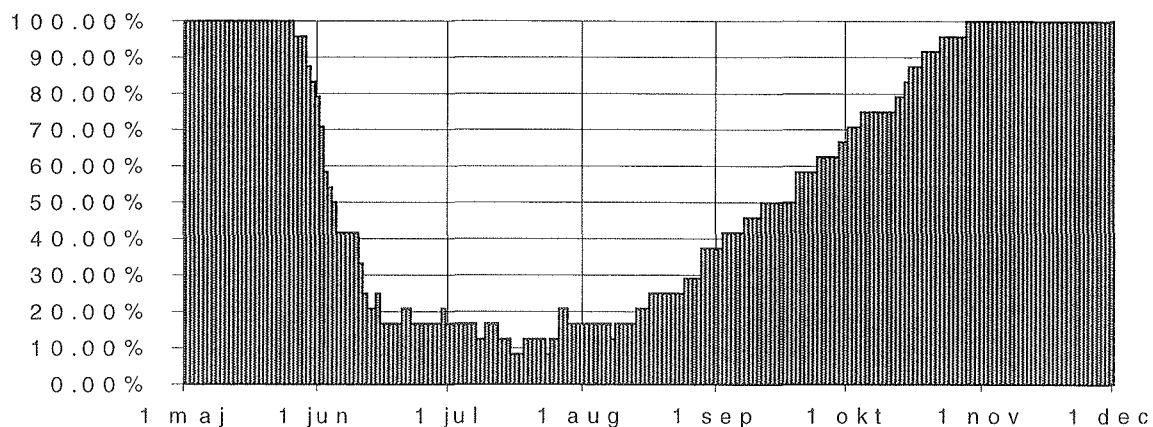


Figur 33. Vattenhalter på 70 cm djup för Elvireborg och sockerbetor.

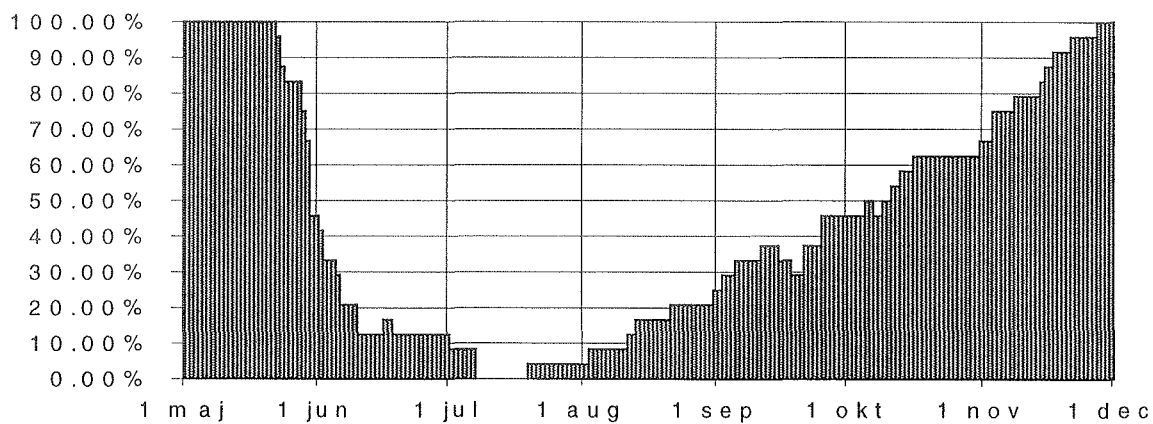
*Packningsfrekvensen under ett år baserat på period 1963- 1988.*

*Kronoslätt*

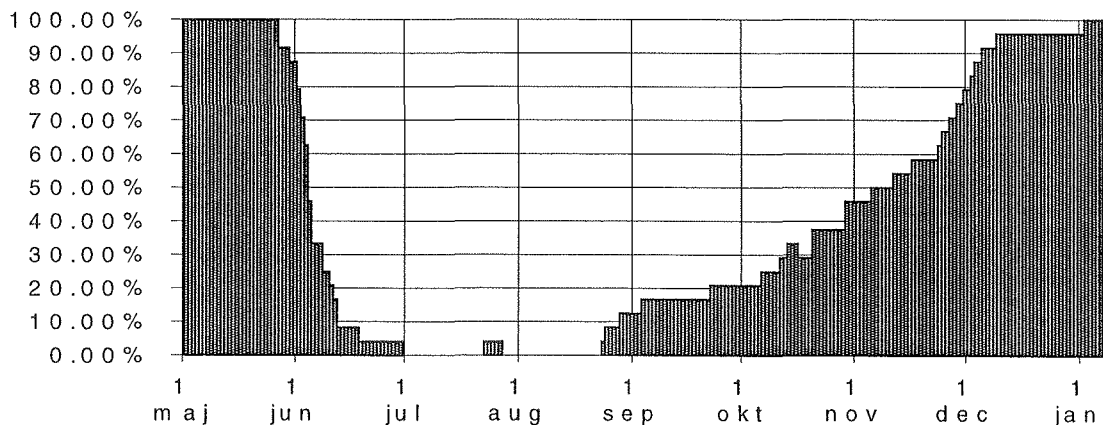
I fig. 34 – 39 redovisas andel av år som körning med tyngre maskiner beräknas orsaka packning i sockerbetsodling och stråsåd (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa).



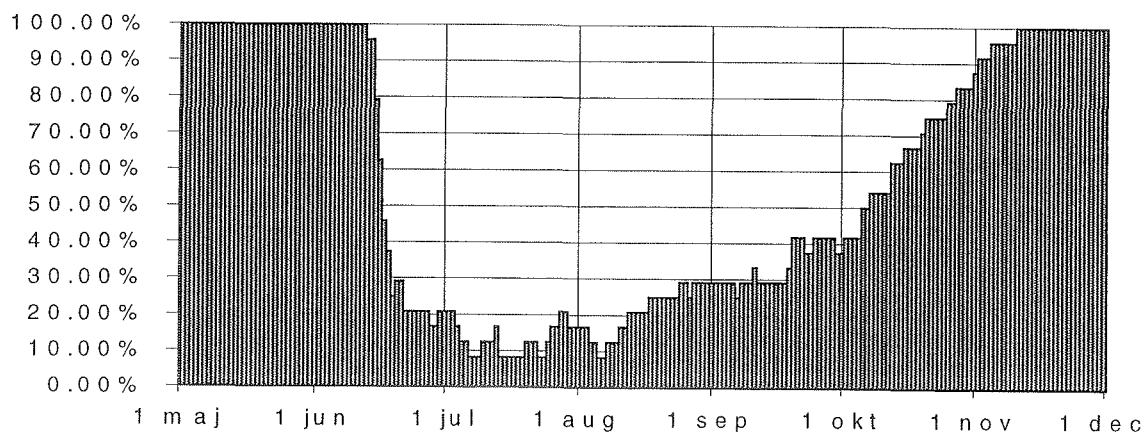
Figur 34. Andel av år som körning med tunga maskiner beräknas ge skada på Kronoslätt och korn på 30 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



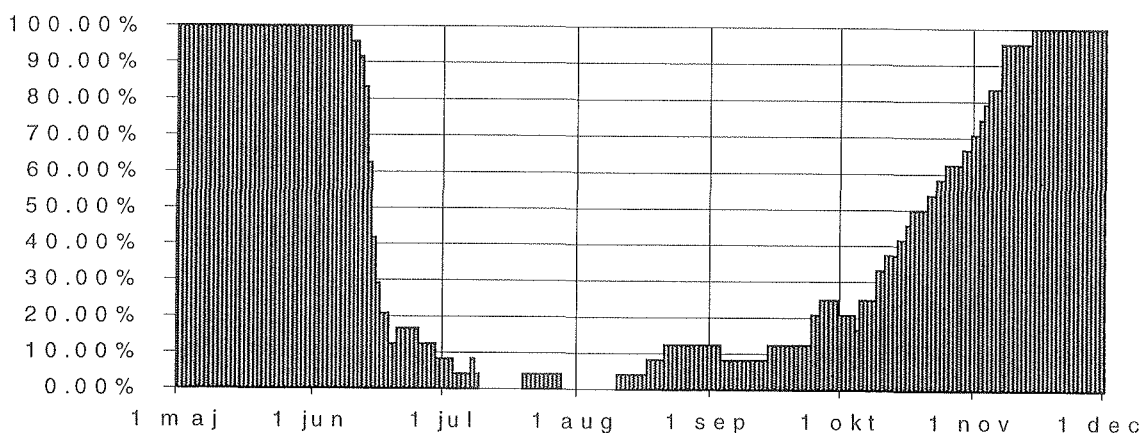
Figur 35. Andel av år som körning med tunga maskiner beräknas ge skada på Kronoslätt och korn på 50 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



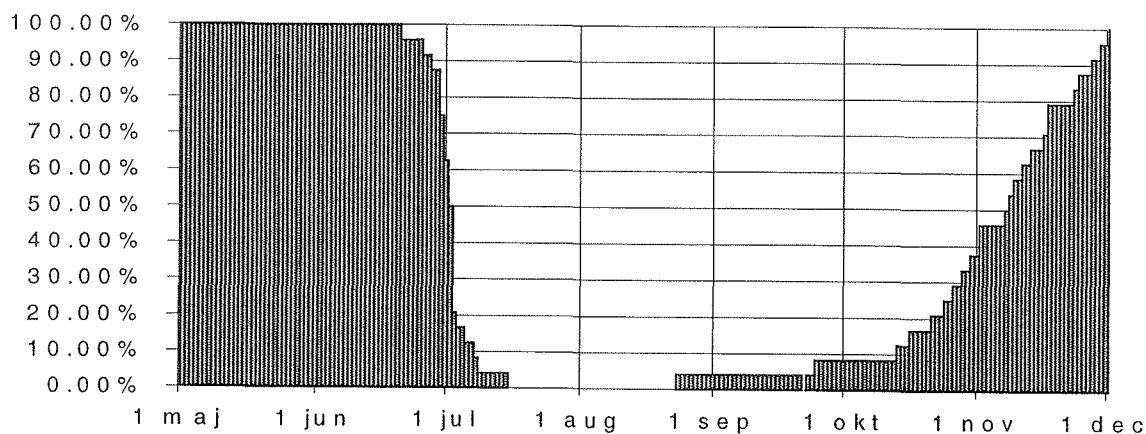
Figur 36. Andel av år som körning med tunga maskiner beräknas ge skada på Kronoslätt och korn på 70 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



Figur 37. Andel av år som körning med betupptagare beräknas ge skada på Kronoslätt och sockerbetor på 30 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



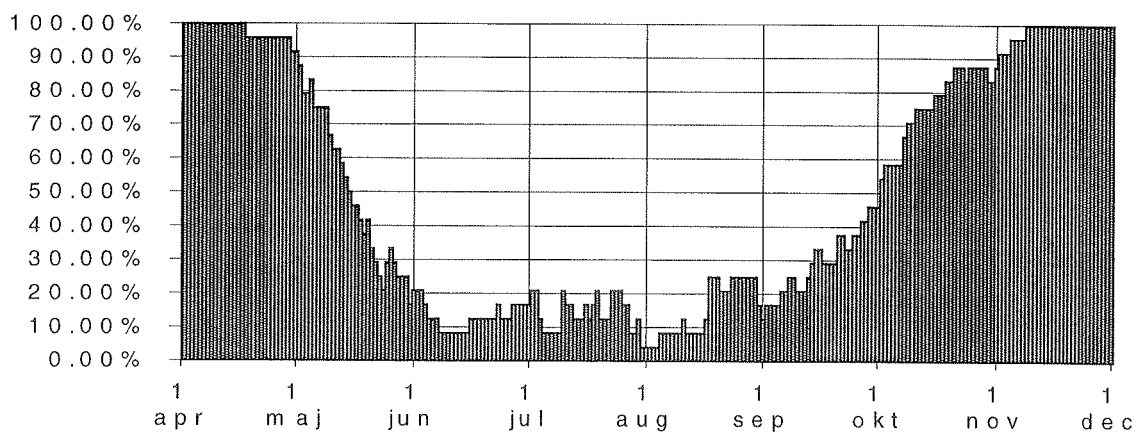
Figur 38. Andel av år som körning med betupptagare beräknas ge skada på Kronoslätt och sockerbetor på 50 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



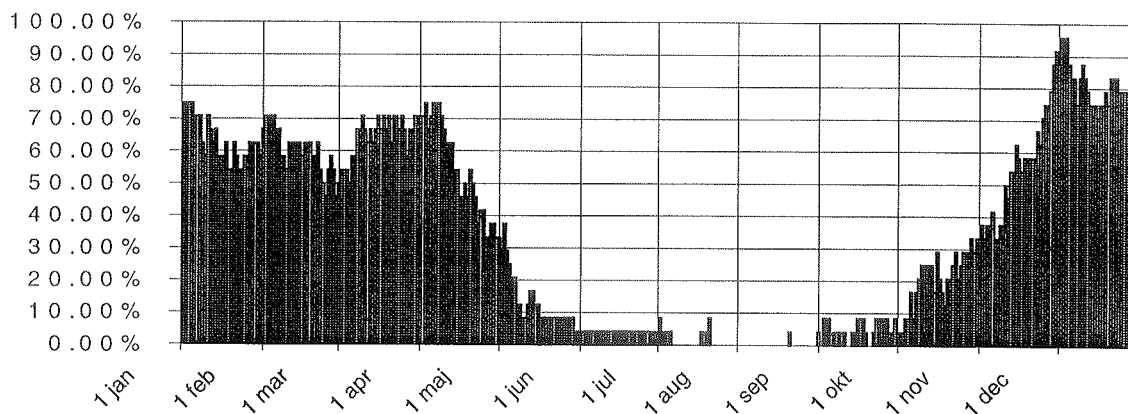
Figur 39. Andel av år som körning med betupptagare beräknas ge skada på Kronoslätt och sockerbetor på 70 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)

*Elvireborg.*

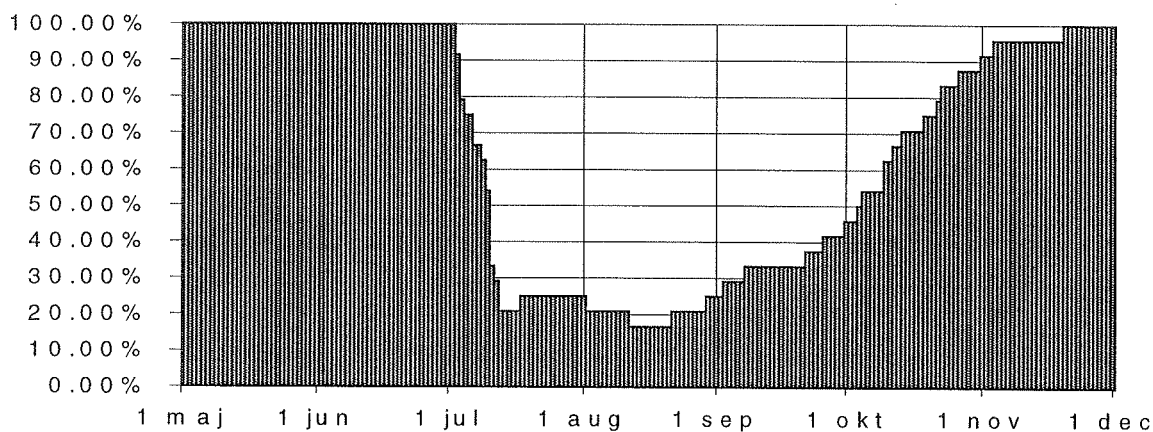
I fig. 40 – 45 redovisas andel av år som körning med tyngre maskiner beräknas orsaka packning i sockerbetsodling och stråsåd (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa).



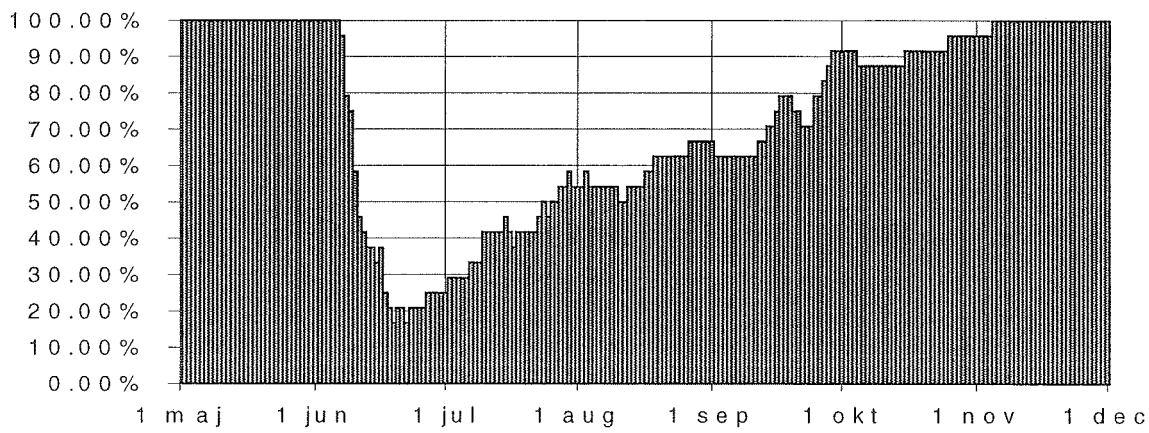
Figur 40. Andel av år som körning med tunga maskiner beräknas ge skada på Elvireborg och vårveete på 30 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



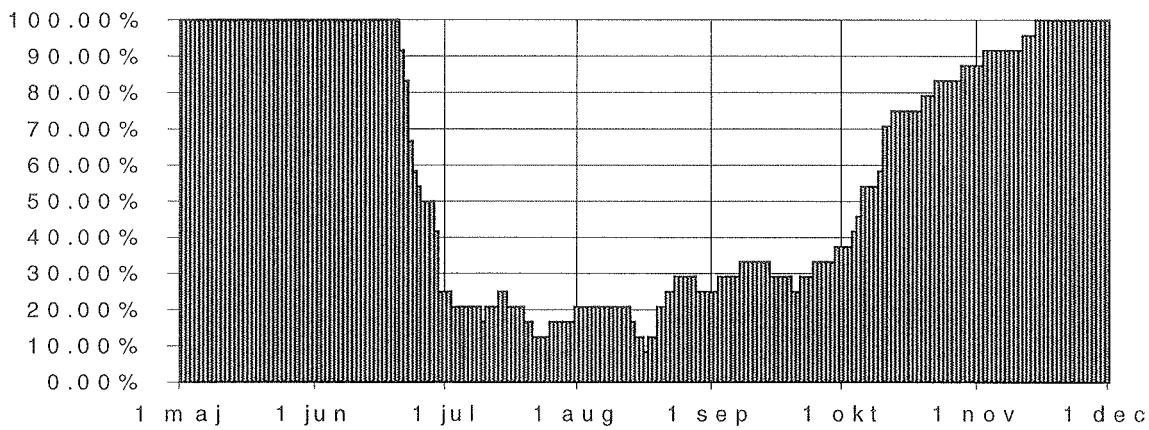
Figur 41. Andel av år som körning med tunga maskiner beräknas ge skada på Elvireborg och vårveete på 50 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



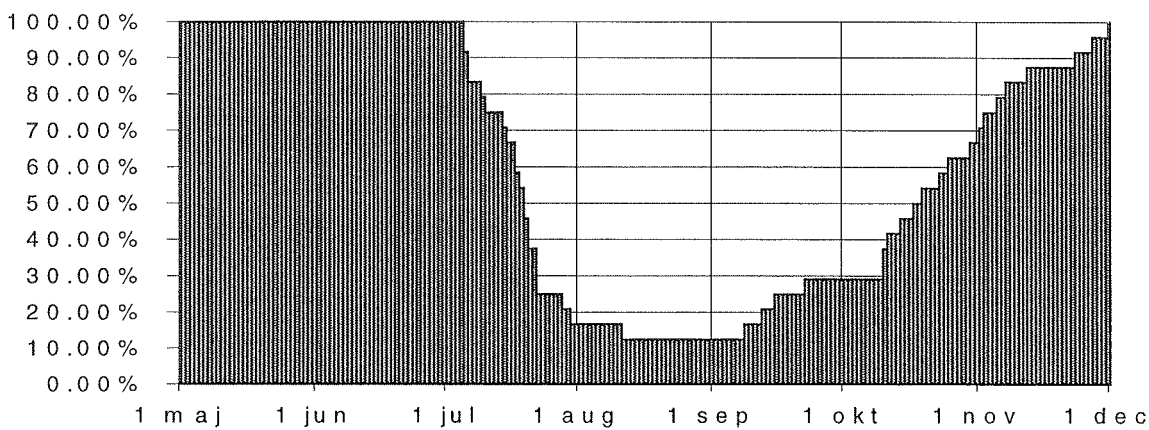
Figur 42. Andel av år som körning med tunga maskiner beräknas ge skada på Elvireborg och vårveete på 70 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



Figur 43. Andel av år som körning med betupptagare beräknas ge skada på Elvireborg och sockerbetor på 30 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



Figur 44. Andel av år som körning med betupptagare beräknas ge skada på Elvireborg och sockerbetor på 50 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)



Figur 45. Andel av år som körning med betupptagare beräknas ge skada på Elvireborg och sockerbetor på 70 cm djup. (hjullast 8 ton, marktryck 220 kPa)

## Diskussion

I vattenhaltsmätningarna för 1997 sker en mycket snabb påfyllning av vatten på hösten i samband med sockerbetsskörden eller strax före. Den ökningen kan lätt ge en packningskada vid körning sent på hösten. Om man jämför en profils övre och nedre skikt sker upptorkningen uppifrån vilket även gäller för påfyllningen med resultat att de översta skikten är mera packningsbenägna under hösten medan de nedre skikten är känsligast för packning under våren. En möjlighet att undvika packningen på hösten är att skörda betorna före väntade stora nederbördsmängder och i stället ta en lagringsförlust. De översta skikten reagerar också snabbast på korta regn vilka inte kan ses som vattenhaltsförändringar i de djupare skikten.

Det växttillgängliga vattnet till en meters djup tas fort upp av grödan som tydligt framgår av fig. 11 och fig. 12. Sockerbetor tar upp en större mängd vatten än vårstråsäd på både Elvireborg och Kronoslätt. Sockerbetorna tar även upp vatten en längre tid på året genom den långa växtsäsongen. Växten har också ett visst upptag av vatten större djup än en meter, vilket kan kompensera en del av vattenbristen till en meters djup. Vid mätningarna sågs att det fanns en avdunstning från profilen som ledde till att det vid vissa tidpunkter var en lägre vattenhalt än vissningsgränsen i profilen. Det syns tydligt i simuleringsfigurerna där simuleringarna tömmer förrådet till vissningsgränsen men i de mätta värdena är vattenhalten lägre.

Denna uttorkning under vissningsgränsen är svår att få fram vid simuleringarna. Det resulterar ofta i att vid simuleringen är det för mycket vatten i profilen fram till dess att det sker en påfyllning av vattenförrådet på hösten. Kronoslätt har oftast en bättre överensstämmelse än Elvireborg mellan de uppmätta och de beräknade värdena. Generellt var det svårare att få de beräknade värdena att överensstämma med de uppmätta i de översta skikten medan det fanns en god överensstämmelse på djupare skikt. Det var också generellt sett svårare att få en god överensstämmelse vid simulering för betor än för spannmålsgrödor, troligtvis genom att modellen är gjord för simuleringar av skog och spannmålsgrödor i första hand. Det generella är också att det blir en snabb påfyllning på hösten som leder till att marken snabbt blir känslig för packning. Denna ökning på hösten kan bero på att modellen inte tar hänsyn till den upptorkning under vissningsgränsen som sker och därför påbörjar fyllningen vid en högre vattenhalt, men tendensen finns även i de uppmätta resultaten.

Vid beräkning av andel av år som kan ge skada av körning med hjullaster över åtta ton syns att på Elvireborg är risk för packning större än på Kronoslätt. Om man ser till 1 oktober, betupptagning och 50 cm djup, är risken 35 % på Elvireborg och 25 % på Kronoslätt. En månad senare har Elvireborg en packningsrisk på 85% och Kronoslätt på 70 %. Samma mönster finns på 70 cm djup men det är över lag lägre risker där. Att packningsrisken är större på Elvireborg kan bero på att Kronoslätt har en mera kompakt jord som tål en högre packning och som då får en lägre packningsrisk. Mönstret är liknade vid odling av vårsäd, risken på försommaren är dock något lägre och på hösten något högre.

För att bli säker på resultaten vid bestämning av hållfastheten krävs en mera noggrann bestämning av den kurvanpassning som har gjorts mellan tension och förkonsolideringstryck. Det finns en för stor del antagande för att den ska vara exakt. Men med ett ökat antal prover per djup och per tension skulle det gå att få fram en god kurvanpassning för respektive jord och djup. Det går dock inte att göra ett generellt förhållande mellan tension och förkonsolideringstryck som passar för alla jordar.



Den här använda metoden är alltför komplicerad för att användas av enskilda lantbrukare. Men med fortsatt arbete och utveckling skulle man kunna utforma generella regler för hur olika jordar packas i förhållande till vattenhalterna.

## Slutsatser

- Packningsrisken i alven är högst på våren och senhösten vilket kan leda till att det även kan ge packningsskador på våren vid tidigt vårbruk med tyngre maskiner.
- Under normala år kommer vattenhalten i alven att stiga under hösten. Ju senare under året en körning utförs, desto större kommer alvens packningskänslighet att vara. Under den tid betupptagningen görs (sept-nov) sker normalt en påfyllnad av vattenförrådet i alven, som ändrar packningskänsligheten från låg till hög. Vid körning med en hjullast på åtta ton den 1 oktober, beräknas risken för packning på 50 cm djup till 35 % på Elvireborg och 25 % på Kronoslätt. En månad senare har Elvireborg en packningsrisk på 85% och Kronoslätt på 70 % på samma djup. Körning 1 nov beräknas också ge en packning på 70 cm djup ca 50 % av åren på Kronoslätt och 70 % på Elvireborg.

## Referenser

Arvidsson, J. och Pettersson, O., 1995. Jordpackning och markstruktur, Aktuellt från lantbruksuniversitetet 435, Mark – Växter, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, 20 s.

Assouline, S., Tavares-Filho, J. och Tessier, D., 1997. Effect of Compaction on Soil Physical and Hydraulic Properties: Experimental Results and Modelling. *Soil Sci. Am. J.* 61:390-398.

Brooks, R.H. och Corey, A.T., 1964. Hydraulic properties of porous media, Hydrology Paper No. 3, Colorado State University, Fort Collins, CO, 27 s.

Casagrande, A., 1936. The Determination of pre-consolidation load and its practical significance. *Proc. Int. Conf. Soil mech. Found, Eng.* 22 –26 June. Harvard University. Cambridge. MA. USA. Vol 3, s 60 –66.

Dias Junior, M.S. och Pierce, F.J., 1995. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil technology.* Vol. 8, s 139 – 151.

Håkansson, I., Voorhees, W.B. och Riely, H., 1988. Vehicel and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil Tillage Res.* 11:239-282.

Larsson, Hans et al, 1996. Sockerbetans etablering och tidiga tillväxt. Rapport 6. Institutionen för växtskyddsvetenskap. Alnarp 98s.

Larson, W.E. och Gupta, S.C., 1980. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. *Soil Science Society of America Journal.* Vol. 44 Nr 6, s. 1127 – 1132.

Jansson, P-E., 1991. SOIL water and heat model. Technical description. Rapporter från avdelningen för hydroteknik, institutionen för markvetenskap, nr 11. Sveriges lantbruksuniversitet.

Monteith, J.L., 1965. Evaporation and environment. In: G.E. Fogg (Editor), *The State and Movement of Water in Living Organisms*, 19<sup>th</sup> Symp. Soc. Exp. Biol. The Company of Biologists, Cambridge, s 205-234.

Mualem, Y. 1976. A new model of predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12:513-522.

Soane, B.D. och van Ouwerkerk, C., 1994. Soil compaction in crop production. *Developments in agricultural engineering* 11. Elsevier, Amsterdam, 662s.

Taylor, H.M, Robertson, G.M.och Parker, J.J., 1966. Soil strength-root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. *Soil Sci.* 102:18-22.