



SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET

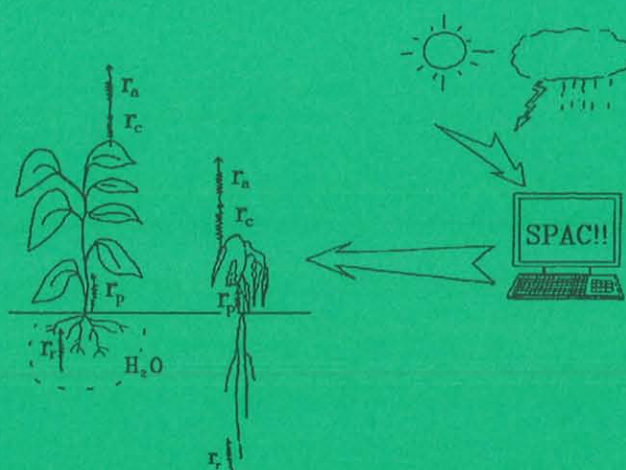
BIBLIOTEKET

## DYGNSVARIATION I BLADVATTENPOTENTIAL HOS RAPS OCH SENAP

Mätningar och simuleringar

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Institutionen för markvetenskap  
Försöksavd för hydroteknik  
750 07 UPPSALA 7

Mohammad B Burujeny



Examensarbete  
Handledare: Henrik Eckersten

Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

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

Avdelningsmeddelande 92:3  
Communications

Uppsala 1992

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--92/3--SE

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:

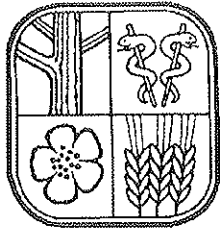
Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik  
Box 7014  
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 69, 67 11 81

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 69, +46-(18) 67 11 81

---

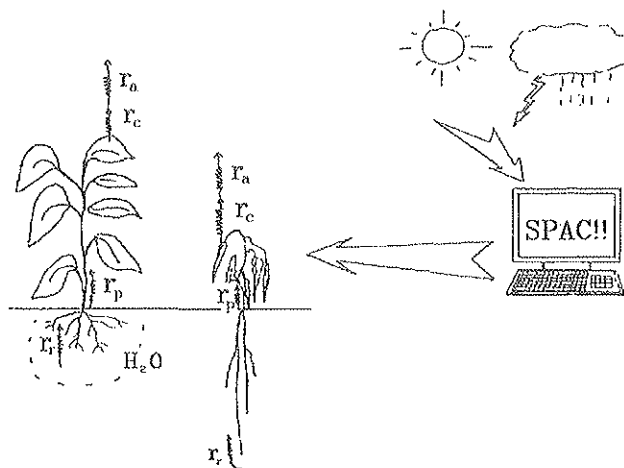


SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET

## DYGNSVARIATION I BLADVATTENPOTENTIAL HOS RAPS OCH SENAP

Mätningar och simuleringar

Mohammad B Burujeny



Examensarbete

Handledare: Henrik Eckersten

---

Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

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

Avdelningsmeddelande 92:3  
Communications

Uppsala 1992

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--92/3--SE

---



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING .....	5
INLEDANDE TEORI OM SPAC-BEGREPPET .....	5
Vattnets förflyttning genom växten .....	5
Vatten i marken .....	6
VATTENMODELLEN (SPAC).....	8
Växtens vatten .....	9
Bladverkets energibalans.....	10
FÖRSÖKSPLATSBESKRIVNING .....	10
PROVTAGNINGAR.....	13
INDATA TILL MODELLEN .....	15
Variabler.....	15
Parametrar .....	16
RESULTAT .....	18
Mätt och simulerad bladvattenpotential.....	18
DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	23
SLUTORD .....	25
SAMMANFATTNING .....	25
SUMMARY .....	26
REFERENSER .....	27



## INLEDNING

Vatten är det viktigaste ämnet för växternas liv. Växterna består vanligen till 70 % av vatten. Olika växter reagerar på olika sätt mot vattenbrist, men reaktionen är ändå i princip densamma hos alla växter, dvs en hög stomataresistans och hög bladvattenpotential. Vatten tas upp av växternas rötter och passerar genom växten för att slutligen hamna i atmosfären (transpiration). Hur mycket vatten som tas upp beror på flera olika faktorer såsom klimat och markförhållanden, men avgörande är klimatfaktorerna därför att de i hög grad avgör växternas vattenbehov. Vattenbrist orsakar dålig tillväxt som i sin tur minskar skörden.

År 1991 pågick ett projekt för studier av *Brassica*-arter vid ett skärmtak (självgående regnsskyddstak) på Sveriges Lantbruksuniversitet. Målsättningen med projektet var att studera odlingstekniken för olika sorter av kålsläktesarterna raps (*Brassica-napus*) och sareptasenap (rysk senap; *Brassica juncea*). Fältstudier av bladens vattenpotential ingick i undersökningen, i avsikt att genom mätningar av vattenpotentialen i blad påvisa skillnaden mellan *Brassica*-varianterna när de utsätts för vattenstress. Samtidig finns en simuleringsmodell vid namn SPAC (Soil-Plant-Atmosphere-Continuum) utarbetad av Kowalik & Eckersten vid SLU:s Institution för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Modellen efterliknar vattnets transport från marken till atmosfären genom växten. Den arbetar på så sätt att växten har en vattenreservoar som reglerar transpirationen. Växtens storlek och bladyteindex spelar stor roll för såväl avdunstningen av det interceperade vattnet som för transpirationen. Rotutvecklingen har också betydelse. Målet med studien är att simulera vattenpotentialen i *Brassica* och jämföra resultaten med mätningar. Avvikelserna mellan simuleringarna och mätningarna diskuteras sedan i termer av den teori som modellen representerar och speciellt då de motstånd som vattenflödet utsätts för.

## INLEDANDE TEORI OM SPAC-BEGREPPET

### Vattnets förflyttning genom växten

Växterna behöver vatten för tre grundläggande processer: (a) Vatten behövs för nästan alla kemiska reaktioner som är nödvändiga för växtens liv och är den dominerande vätekällan för växterna. Vattnets fotolys är första steget i fotosyntesen. (b) Cellernas utveckling kräver vätska i vacuolen (protoplasma och cellväggen). (c) Vattenförluster genom transpiration måste ersättas. (a) och (b) är lika viktiga som (c), men de förbrukar en jämförelse liten del av det vattnet som tas upp. Man kan säga att av varje 1000 g vatten som tas upp, förbrukas 1 g för kemiska reaktioner och 10 g som vätska för cellernas utveckling. Resten, dvs omkring 99 procent av den totala vattenmängden, förloras genom transpiration (Hall, 1976). Man kan säga att nästan allt vatten som tas upp av växternas rötter går ut från växternas topp som ånga då transpiration pågår, så växten kan betraktas som en komplex väg som vattnet passerar genom från marken till atmosfären. Vattnet rör sig genom marken till rötternas yta och transporteras till sist bort från bladytan. Mark-växt-atmosfär kan betraktas som en kedja för vattnets förflyttning. Om man betraktar två punkter längs denna väg upptäcker man att vattnets förflyttning mellan de två punkterna styrs av potentialskillnaden. Förflyttningen kan bestämmas genom denna skillnad (drivande kraften) och resistansen. Den drivande kraften varierar i olika delar av vattnets väg. Förflyttningen i xylemet är trycket den väsentliga kraften, dvs rörelsemängden mellan två punkter i xylemet är proportionellt mot

tryckskillnaden. I marken är skillnaden i fysiska potentialen (materiepotential) den viktigaste. Vattnets förflyttning mellan cellerna påverkas av trycket, dvs summan av den fysiska potentialen och den osmotiska kraften, och den totala vattenpotentialskillnaden mellan två celler blir ett mått på den drivande kraften, i detta fall rörelsemängden, dvs

$$F = \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{R} \quad (1)$$

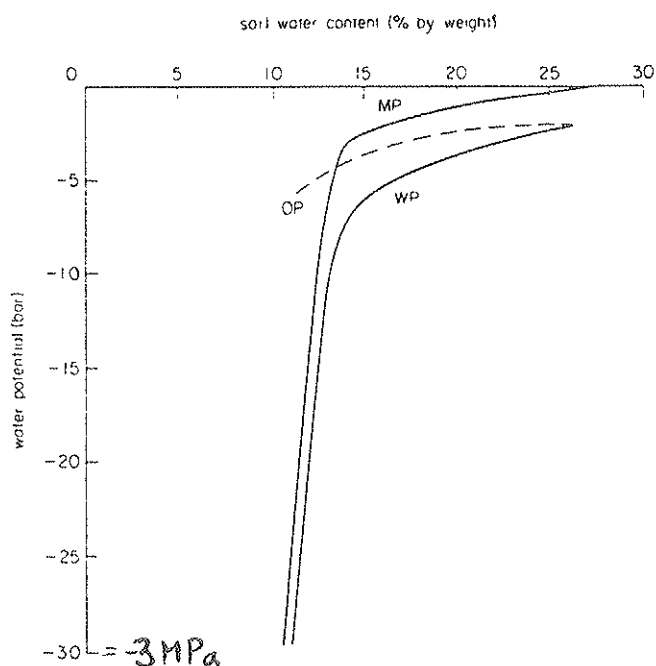
där  $\psi_1$  och  $\psi_2$  är vattenpotentialen i två punkter och R är resistansen mot vattnets rörelse mellan punkterna. Sålunda kommer vattnet endast att röra sig genom marken och växten om potentialen faller hela vägen (från marken till växtens topp). För att behålla denna gradient krävs en kontinuerlig energitillförsell, men denna behöver inte samlas i alla punkter längs vägen. För att ett tåg skall starta behövs en drivande kraft, vilken är lokomotivet som sitter framför vagnarna. Samma situation gäller för att dra vattnet framåt. För detta ändamål finns två energikällor som driver vattnet genom växten, nämligen solen och växtens metabolism. Solstrålningen håller luften torr, vilket i sin tur orsakar vattenförluster från bladen genom transpirationen. Detta resulterar i en låg vattenpotential inuti bladen och på så sätt uppstår en vattenpotentialgradient i växten.

Växtens metabolism kan skapa en osmotisk potential, antingen genom aktiv transport av joner in i celler eller genom att producera lösliga substanser såsom socker och organiska syror. Differensen mellan den osmotiska potentialen i växtens olika delar kan orsaka att vattnet förflyttas. I roten tas joner aktivt in i xylemet och metabolismens materialförbrukning producerar ofta inuti xylemet en osmotisk potential som är lägre än den utanför rötterna. Detta möjliggör en inre drivande kraft för vattnets förflyttning genom att skapa ett högre tryck (rottrycket) inne i xylemet. Detta övertryck orsakar utsvetning av xylemsaften genom klyvöppningarna. Protoplasmas och cellväggens utveckling (tillväxten) skapar en fysisk potential som kan dra in vatten. Fortgående transpiration samt rottrycket är de enda drivande krafterna av betydelse för kontinuerligt flöde genom växten (som motsats till flöde som expanderar cellerna). Av de två ovan nämnda processerna är transpirationen vanligen den viktigaste kraften (Hall, 1976), dvs den största kraftkällan för vattnets förflyttning genom växten är orsakad av transpirationen. Rottrycket kan vara viktigt under vissa tider, t ex på våren när bladen på träden börjar spira och slå ut.

## Vatten i marken

Marken är ofta uppbyggd av aggregat med porer emellan. Om alla porerna är vattenfyllda, sägs marken vara vattenmättad. En jord förblir i mättnadstillstånd om dräneringen har hämmats, annars bortgår en del av vattnet och ersätts med luft. Dessa vattenförluster kan ske successivt då vattnet rinner nedåt i marken i en till tre dagar beroende på jordart etc. Marken kan dock hålla en hel del vatten efter dräneringen och då säger man att marken har nått fältkapacitet. Detta är den maximala vattenmängd som en jord kan hålla vid normal dränering. En typisk fältkapacitet för en sandjord kan vara omkring 10 viktprocent (10g vatten per 100g torr jord) och för en lerjord 40 procent, ännu mer för mycket styva leror (Hall, 1976). Förutom genom dränering sker vattenförluster genom avdunstning från markytan eller genom att växtrötterna tar upp vatten. Figur 1 visar relationen mellan markens vattenhalt och den fysiska potentialen i en aggregerad jord.

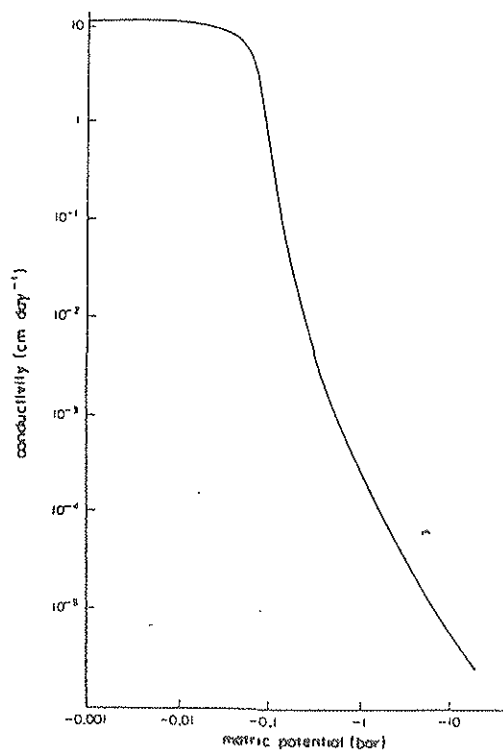




**Figur 1.** Relation mellan osmotisk potential (OP), fysisk potential (MP), vattenpotential (WP) och vattenmängden för en sandig lerjord ( Slatyer, 1957).

Fältkapacitet motsvaras vanligen av en fysisk potential av i storleksordning -10 till -33 kPa. Denna fysiska potential varierar från jord till jord. Jordens markvatten är inte rent vatten. Det har en osmotisk potential. Om vattnet förloras från marken blir salterna kvar i marken och den osmotiska potentialen kommer att falla (som visas i figur 1), men inte så mycket som den fysiska potentialen. Den osmotiska potentialen hos många jordar är vid fältkapaciteten av storleksordning -10 kPa. En salthaltig jord har ännu lägre värde. I figur 1 är den osmotiska potentialen -200 kPa (-2 bar) vid fältkapacitet, antagligen pga den tillförsel av konstgödsel som skett. Den osmotiska potentialen har ingen väsentlig effekt på vattnets förflyttningen i marken, eftersom det inte finns avskiljande genomträngningsmembraner. Vattnets förflyttning genom marken är beroende av den fysiska potentialens gradient, medan rötternas vattenupptagning också beror av den osmotiska potentialen. Därför är det den totala markpotentialen avgörande.

Vattnets förflyttning genom marken är inte bara beroende av de drivande krafterna (den fysiska potentialens gradient) utan beror också av motståndet mot vattenflödet. Vattnet kan endast röra sig genom de porerna som är vattenfyllda. Antalet porer som har låg konduktivitet är stort, men vattnet i de stora porerna är mest lättillgängligt. Varje gång vattenhalten minskar i marken är det de stora porerna som töms först. Detta förklarar varför konduktiviteten faller mycket starkt då marken torkar. Figur 2 visar relationen mellan markens konduktivitet och markens fysiska potential för en aggregerad jord. En mycket låg konduktivitet i en torr jord kan reducera vattentillgången för rötterna markant.

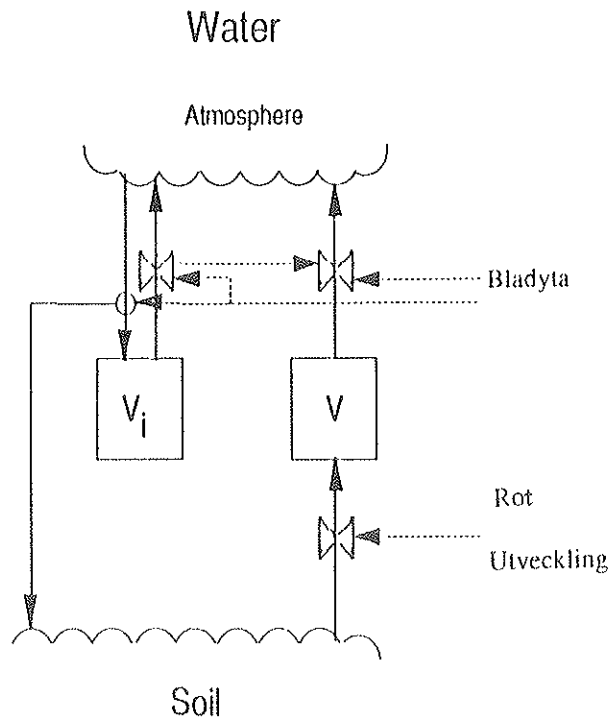


Figur 2. Relation mellan konduktivitet och fysisk potential för en moig lättlera. Båda axlarna har logaritmisk skala (Hall, 1976).

## VATTENMODELLEN (SPAC)

Modellen är uppdelad i två delmodeller, en för vatten, och en för biomassa. Vattenmodellen har två s.k. pooler, det lättillgängliga vattnet som är i bladen och det interceperade vattnet på bladytan (se figur 3). Faktorer vilka länkar de två delmodellerna är transpirationsmängden, beräknad med vattendelmodellen, samt bladyta och rottillväxten, beräknad med delmodellen för biomassa.

Modellens indata är 10-minuters medelvärden för globalstrålning, lufttemperatur, luftens relativa fuktighet, vindhastighet, nederbörd och markens vattenpotential. Bladens vattenförråd är en pool med lättillgängligt vatten för transpirationen. Transpiration sker på dagen när klyvöppningarna är öppna och bestäms av den tillgängliga strålningsenergin, luftens relativa fuktighet samt andra faktorer som reglerar vattenflöden från växten till atmosfären. Växtens vattenförluster kompenseras genom vattenupptagning från marken. Om rötterna är dåligt utvecklade eller markens vattenförråd är svårtillgängligt, så minskas växtens vattenreservoar. Så fort växten stänger sina klyvöppningar minskas transpirationen och växten kan öka sitt vatteninnehåll genom upptag från marken. Nattetid är klyvöppningarna stängda och vattenavgången är mycket långsam och liten, eftersom den bara sker genom membranet. När växten har uppnått en vattenstatus motsvarande den i marken, avbryts även vattenupptagningen från marken. Vattenflödet kan beskrivas i termer av vattenpotential och resistans.



Figur 3. SPAC-modellen (vattendelen) (V) I=intercepterat. Heldragna linjer är flöden av vatten. Streckade linjer är informationsflöden ( Eckersten , 1991).

### Växtens vatten

Växtens lättillgängliga vattenmängd är proportionell mot bladytan. Den minskar genom transpirationen, men ökar genom vattenupptagning skapad av vattenpotentialskillnaden mellan planta och mark. Ett vanligt slutet bladverk innehåller mycket mindre vatten än vad som dagligen omsätts genom transpiration och upptagning.

Såsom visas i bilden (se figur 3) finns det ett förråd av växttillgängligt vattnet i växten (V) från vilket vattnet kan transpirera ( $F_T$ ). Den drivande kraften för transpirationen är ångtrycksskillnaden ( $e_s - e_a$ ) mellan luften inne i klyvöppningarnas hålrum och luften i omgivningen. Flödet påverkas av två resistanser; stomataresistansen ( $r_c$ ) och resistansen för transport i luften utanför bladen ( $r_a$ ). Växtens vattenförråd fylls på av rotupptaget ( $F_u$ ) och förändringen ( $\delta V$ ) utgör en summering av skillnaderna mellan  $F_u$  och  $F_T$  under den aktuella perioden (tidsteget i modellen) (ekv 2).

Skillnaden mellan bladverkets vattenpotential ( $\psi_c$ ) och markens vattenpotential ( $\psi_s$ ) utgör kraften för vattenupptagningen mot markens resistans ( $r_r$ ) och växtens resistans ( $r_p$ ). (ekv 4). Varje blads enhetsarea kan av lättillgängligt vatten ( $V_o$ ) maximalt innehålla vad som motsvarar den maximala vattenpotentialen ( $\psi_{cMax}$ ). När det inre vattenförrådet är tömt har bladverkets vattenpotential nått sitt minsta värde ( $\psi_{cMin}$ ) (ekv 5.6).

$$\delta V = \int (F_u - F_T) dt \quad (2)$$

där

$$F_r = \frac{\rho C_p}{\gamma \lambda} \frac{e_s - e_a}{r_c + r_a} \quad (3)$$

och

$$F_u = \frac{\Psi_s - \Psi_c}{r_r + r_p} \quad (4)$$

$$\Psi_c = \Psi_{cMax} - (\Psi_{cMax} - \Psi_{cMin}) \left(1 - \frac{V}{V_{Max}}\right) \quad (5)$$

där

$$V_{Max} = V_o A_{li} \quad (6)$$

$\rho$  är luftensdensitet  $\text{kg m}^{-3}$ ,  $\lambda$  latent värme för vattenånga  $\text{J kg}^{-1}$ ,  $\gamma$  psyrometerkonstant  $\text{Pa K}^{-1}$  och  $c_p$  är luftens värmekapacitet  $\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

### Bladverkets energibalans

Den strålningsenergi som absorberas av bladverket används till vattnets avdunstning från växten. Avdunstningens storlek bestäms också av andra faktorer och under dagtid, då mer strålning absorberas än vad som förbrukas genom avdunstning, blir bladverkets yta varmare än omgivningen. Den kraftiga värmen lämnar växten genom det sensibla värmeflödet. På natten eller vid regn gäller normalt det motsatta. Vi antar att energiförrådet i bladens vävnad är försumbart i förhållande till flödena till och från ytan. Detta antagande är dock inte så bra när de andra flödena är små såsom vid solens upp- och nedgång. Variablerna som bestämmer solens energifördelning mellan latent och sensibelt värmeflöde är bland annat vindhastighet, luftfuktighet och klyvöppningarnas resistans.

Ytans temperatur ( $T_s$ ) regleras så att bladverkets energibalans blir helt tillfredsställd genom upprepade förändringar av  $T_s$  tills dess summan av alla tre energiflödena är under en viss gräns ( $\Delta_{Max}$ ) (ekv. 7). Strålningsdifferensen mellan bladverket och omgivningen är den nettostrålning som intercepteras av bladverket ( $R_n$ ), det vill säga nettostrålningen ovanför bladverket ( $R_{no}$ ) minus motsvarande värde under bladverket. Detta senare värde beräknas enligt Beers lag genom användning av strålningens utsläkningskoefficient ( $k$ ) och bladytaindex ( $A_{li}$ ). (ekv8). Energibalansen är summan av  $R_n$  minus summan av det sensibla värmeflödet ( $H$ ) och det latent värmeflödet ( $\lambda F_T$ ), eftersom lagringen av värme i växtens vävnad är försumbar.

$$R_n - H - \lambda F_T < \Delta_{Max} \quad (7)$$

där

$$R_n = R_{no} (1 - \exp(-k \cdot A_{li})) \quad (8)$$

$$H = \frac{\rho C_p (T_s - T_a)}{r_a} \quad (9)$$

Det sensibla värmeflödet är proportionellt mot skillnaden mellan ytans temperatur ( $T_s$ ) och luftens temperatur ( $T_a$ ) dividerad med resistansen för värmeledningen i luften ( $r_s$ ), vilken antas vara densamma som vattenångan för flöde. Det latent värmeledningen (som är proportionellt mot transpirationen) är skapat genom ångtrycksskillnaden mellan klyvöppningarnas hålrumsväggar ( $e_s$ ) och ångtrycket i den omgivande luften ( $e_a$ ). Hålrumsväggarna antas ha mättnadsångtryck, medan luften har en relativ fuktighet  $h_a$ .

$$e_s = \frac{c_1 \exp(c_2 T_s - c_3)}{(c_4 T_s - c_5)} \quad (10)$$

$$e_a = \frac{h_a c_1 \exp(c_2 T_s - c_3)}{(c_4 T_a - c_5)} \quad (11)$$

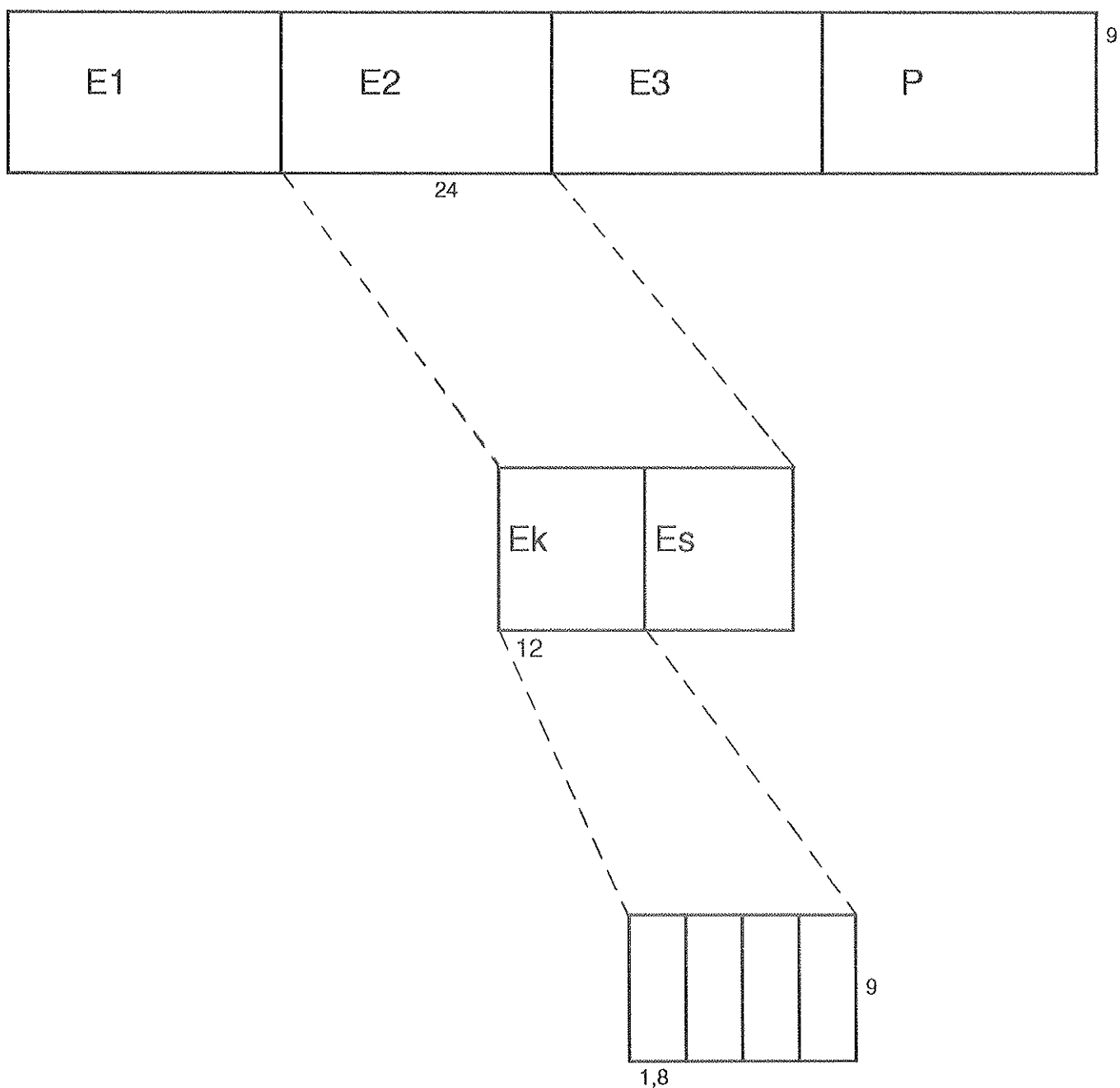
Temperaturerna i ekvationerna 10 och 11 anges i grader Kelvin.

## FÖRSÖKSPLATSBESKRIVNING

Experimenten utfördes från maj till augusti 1991 vid skärmtaksanläggningen vid Ultuna, 5 km söder om Uppsala, lat. 59° 49' N, long. 17° 38' 0, ca 15 m över havet. För mer detaljer om försöksplatsen se Mohamed m fl (1988).

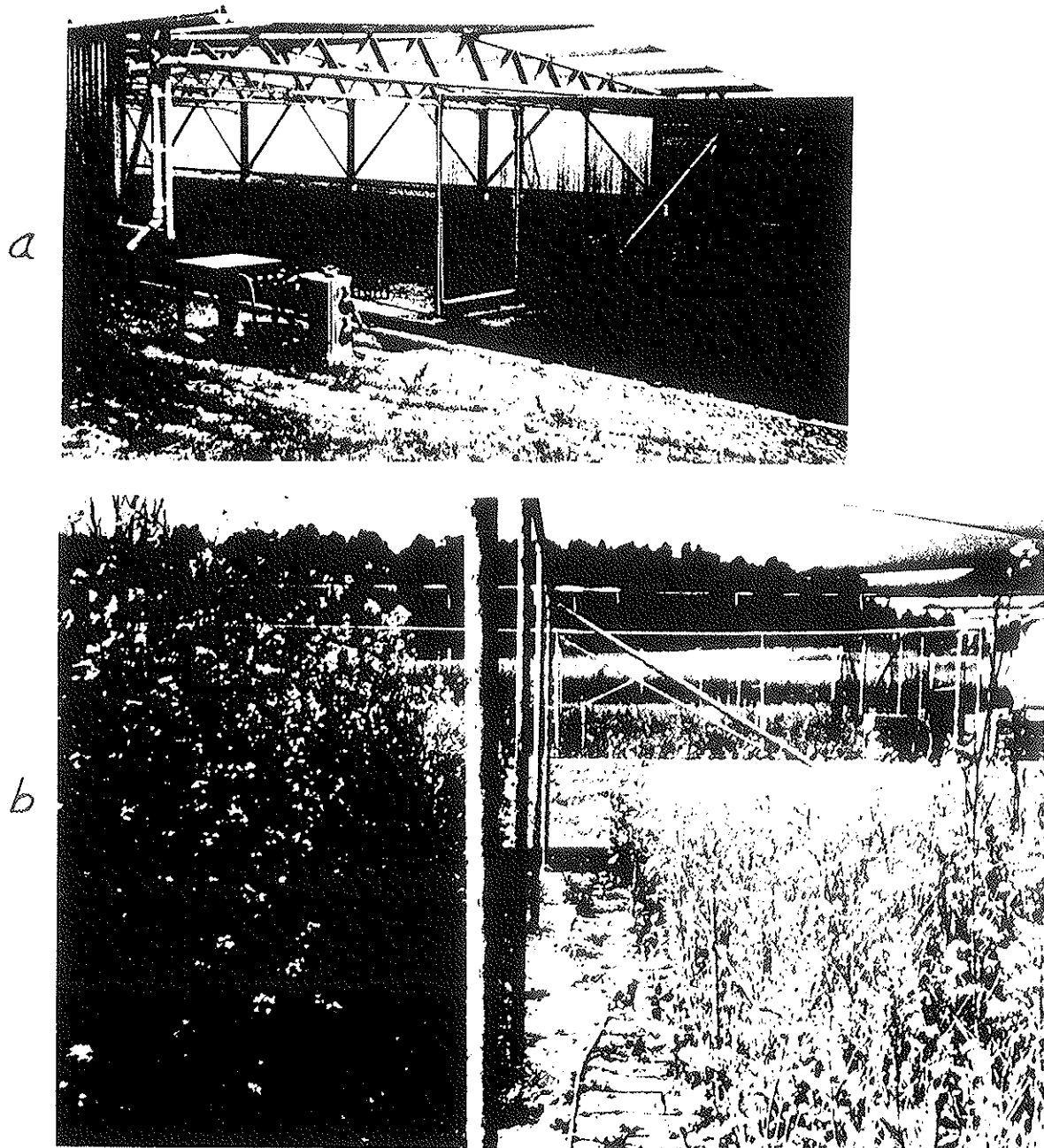
Experimentfältet är uppdelad i 4 delytor; tre ( $E_1$ ,  $E_2$  och  $E_3$ ) utnyttjas som försöksytor under växtsäsongen och täcks av ett skärmtak vid regn. Den fjärde (P) utnyttjas som parkeringsplats för skärmtaket under resten av året. Varje delyta (E) var i sin tur uppdelad på två delytor (stressdel respektive kontrolldel). Varje plats ( $E_1, E_2, E_3$ ) används vart tredje år.  $E_2$  brukades under 1991 som försöksfält medan  $E_1$  och  $E_3$  låg i träda. Se figur 4 och 5.

Mätningarna utfördes på lerjorden. Försöksfältet ( $E_2$ ) var uppdelad i 8 parceller, av vilka 4 ingick i de stressade leden (de som ej bevattnades) och de resterande 4 i de bevattnade leden. Varje parcell omfattade 14 sorter och av varje sort såddes 3 rader med 20 cm mellan varje rad. Varje rad innehöll ca 60 plantor. För att eliminera kanteffekten såddes två skyddsraderna vid ytterkanterna (skyddsraderna ingick inte i försöket).



**Figur 4.** Skiss över försöksplatsen. Siffror (utan bokstäver) avser avstånd i meter. S=stressed (icke bevattnat); k=kontrollerad (bevattnat).

I lerjorden bestod matjorden (0-30 cm) av styv lera med en lerhalt av 47 viktprocent. Humushalten var 2,5 %. Alven (30-80 cm) var en mycket styv lera med en lerhalt av 50 - 60 %. Under alven (80 - 100 cm) fanns det ett skikt av fin sand och under detta skikt var lerhalten 40 %. Medelporositeten var 50 % vid groningen. Vid fältkapaciteten var den växttillgängliga vattenmängden 152 mm (till 100 cm djup). Grundvattennivån låg på ca 1,5 meters djup (Göran Johansson, 1991)



**Figur 5. a.** Experimentytan täckt med fågelskyddsnät (fram) och automatiskt regnskyddstak (bak) i sitt parkeringsläge. **b.** kontroll (vänster) och stressparcell (höger) vid blomningsstadium. Bilden visar sareptasenap på lerjord (efter Mohamed m fl ,1988).

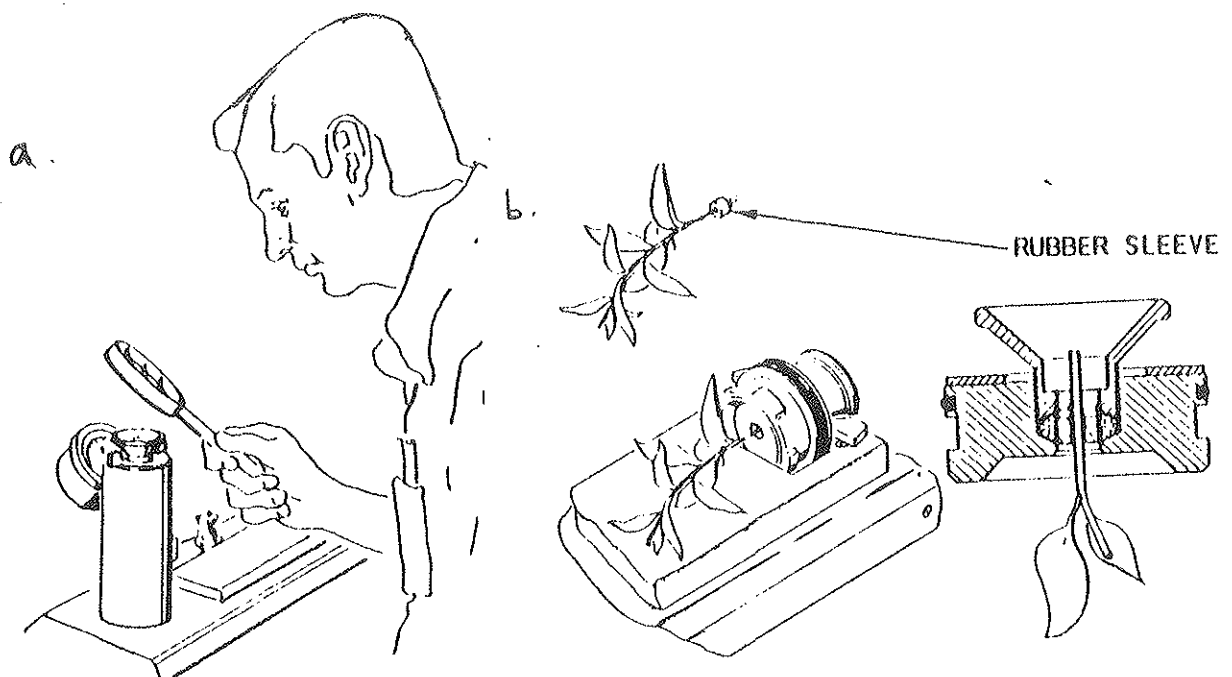
## PROVTAGNINGAR

Markens fuktighetsförhållanden på 15 och 25 cm djup i profilen mättes tre gånger i veckan med tensiometer. Tensiometrarna var placerade med 8 meters avstånd från varandra. Fuktighetsförhållandena i profilintervallet 25-100 cm mättes med neutronsondsteknik. Droppbevattningssystem användes för bevattning och vattengivorna redovisas i tabell 1.

**Tabell 1.** Vattenmängder (mm) som månad för månad tillfördes de olika försöksleden (k=kontroll S=stress)

Månad	Lera $\kappa$	Lera $\varsigma$
Maj	46,6	46,6
Juni	75,0	10,0
Juli	90,0	
Aug	30,0	
Summa	241,6	56,6

Många olika mätningar utfördes, såsom av bladvattenpotential, bladytestorlek, bladvattenhalt osv, men i denna rapport beskrivs endast vattenpotential-mätningarna. För mätning av bladens vattenpotential finns flera instrument och metoder tillgängliga, men i föreliggande undersökning har tryckkammartekniken använts. Tryckkammaren har tidigare begagnats för samma typ av fältstudier inom samma projekt (Lewan, 1988). Vid mätningen av vattenpotentialen placerades bladet inne i en tryckkammare. En del av bladskafet lämnades utanför tryckkammaren och exponerades på så vis för atmosfärtrycket. Inne i kammaren tillfördes kvävgas under övertryck tills dess en eller flera blåsor bildades vid bladskafstvärnsnittsytan utanför tryckkammaren (figur 6). Övertrycket inne i tryckkammaren motsvarar då undertrycket inne i bladet, dvs vattenpotentialen.



**Figur 6.** a. Tryckkammarteknik b. Detaljbild över provhållaren (Soilmoisture Equipment Corp).



Vid provtagningen var avsikten att välja ut blad som var representativa och lika för alla sorter. Urvalet av blad gjordes minst 15 cm från kanträderna för att undvika plantor påverkade av eventuella kanteffekter. Bladen skars av med hjälp av skalpell för att blåsbildning lättare skulle upptäckas vid mätningen. Vid mätningarna placerades proven (bladen) i tryckkammaren med 0,5 till 1,0 cm av bladskafet utanför kammaren. Det är viktigt att hålla sig innanför detta intervall, annars kan stora mätfel uppstå (Squire m fl, 1981). Först sedan tryckkammaren stängts tillåts kvävgas strömma in. Tryckstegringshastigheten får inte understiga 20 kPa/s och inte överstiga 40 kPa/s (Squire m fl, 1981). Under mätningarna eftersträvades en konstant tryckstegringshastighet av 30 kPa/s.

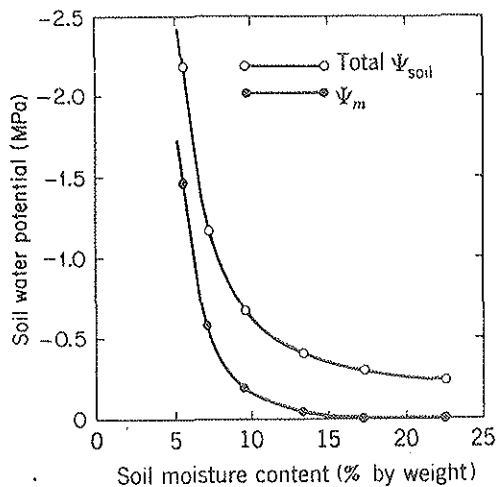
Mätningarna skedde omedelbart efter provtagningen för att undvika att avdunstning från bladet orsakar metaboliska förändringar i växtsaften eller cellexpansion och därigenom ändring av bladens vatteninnehåll. Dessa två fenomen kan i högsta grad påverka mätresultaten (Squire m fl, 1981). Detta är speciellt viktigt att beakta vid mätning på prover med hög vattenhalt och vid mätning under mycket varma dagar. Väntetiden får inte överskrida 2 minuter. För att nå detta mål hade man en tryckkammare ute på fältet och bladet plockades från plantan och mättes direkt.

## INDATA TILL MODELLEN

### Variabler

De meteorologiska variabler som användes i modellen (indata till modellen) var mätdata från försöksplatsen. Den globala solstrålningen (300-3000 nm) mättes med en pyranometer (Kipp & Zonen, CM-11) på ca 1,5 meters höjd. Lufttemperaturen mättes på 1,5 meters höjd med termoelement. Vindhastigheten mättes på ca 10 meters höjd med en mätare av märket Fuess. Luftfuktigheten mättes med en Lambrecht hårhygrometer på 1,5 meters höjd. Alla mätningarna genomfördes på en station belägen 30 meter från försöksplatsen (försöksplatsen och stationen ligger på samma höjd). Bevattningen registerades varje gång marken bevattades. De meteorologiska variablerna lagrades med 10 minuters intervall. Vid simuleringarna begagnades faktiska klimatdata från den aktuella dagen. Markvattenpotentialen ( $\psi_{\text{soil}}$ ) fastställdes i kontrollleden och dess värde var -0,057 MPa. Detta värde användes i modellen. I stressleden var möjligheterna att mäta markvattenpotentialen begränsade.

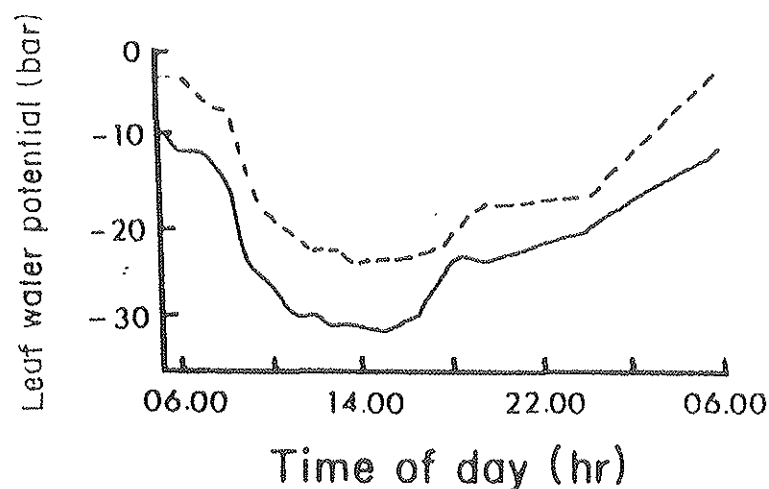
I stället användes ett värde av -0,7 MPa, dvs ca 12 gånger större än vattenpotentialen i kontrollleden därför att denna markvattenpotential ungefär motsvarar den högsta bladvattenpotential som observerades under dygnet. Detta motsvarar också ungefär den minsta vattenhalt som en lerjord kan ha, dvs ca 7% vattenhalt (Kramer, 1983). Se även figur 7 som visar relationen mellan markens vattenhalt och markens vattenpotential.



**Figur 7.** Relationen mellan den totala markvattenpotentialen ( $\psi_{soil}$ ), den fysiska potentialen ( $\psi_m$ ) och markens vattenhalt för sand, moig lättlera och torv från en växthusjord. Skillnaden mellan fysisk och total potential är den osmotiska potentialen. (OBS: denna relation har ej använts i modellen utan är bara ett exempel) (Kramer, 1983).

## Parametrar

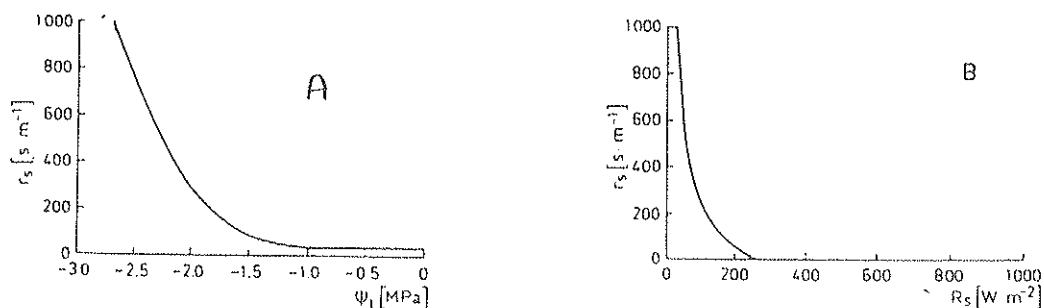
Bladvattenpotentialen mättes i både kontroll- och stressleden. Högsta värdet var -0,4 MPa och minsta värdet var -1,6 MPa. Det högsta värdet ( $\psi_{cmax}$ ) sattes till det uppmätta men det minsta värdet i modellen ( $\psi_{cmin}$ ) sattes till -2,5 MPa, därför att det ska motsvara den potential som växten tål utan att förlora sin turgor. Detta värde härrör från egna iakttagelser på försöksplatsen av kålväxter (*Brassica*) vid visningsgränsen. Som jämförelse är bladvattenpotentialen hos bomull på en fuktig jord ( $\psi_{soil} = -0,05$  MPa) mellan -0,03 och -0,04 MPa som högst och -2,1 MPa som lägst. Simpson (1981). Hos en torr jord är situationen annorlunda (t. ex  $\psi_{soil} = -0,77$  MPa), där bladvattenpotentialen är mellan -0,1 MPa och -3 MPa, (Se figur 8).



**Figur 8.** Dygnsvariation av bladvattenpotential för bomull vid mycket fuktig ( $\psi_{soil} = -0,05$  MPa, streckad linje) och mycket torr ( $\psi_{soil} = -0,77$  MPa, heldragen linje) mark.  $\psi_{soil}$  är mätt på 0 - 90 cm djup. (OBS: denna relation har ej använts i modellen utan är bara ett exempel)(1bar=0,1 MPa)(Simpson, 1981).

Klyvöppningsresistansen styrs av flera olika faktorer, bl a omgivningensfaktorer, men det vattenpotentialvärdet vid vilket klyvöppningarna stängs är mycket betydelsefullt. Det var svårt att hitta ett minimumvärde för den stomataresistansen ( $r_{sMin}$ ) (definierad per bladytanhet), men vi satte  $r_{sMin} = 150 \text{ s m}^{-1}$  enligt litteraturuppgifter om mätningen på Brassica-arter ( rovor, kålrot och även sockerbetor) Simpson (1981). Den maximala värdet för  $r_{sMax}$  sattes till  $6000 \text{ s m}^{-1}$ , vilket är det värde vid vilket klyvöppningarna är helt stängda.

Som tidigare nämnts varierar värdet på  $r_s$  beroende på  $\Psi_c$  eller  $R_s$ . Relationen mellan stomataresistansen ( $r_s$ ) och solstrålningens intensitet för gräs och andra kulturväxter behandlas av Rijtema (1965). Ett numerisk värde för denna relation publicerades 1978 av Feddes m fl se figur 9b. Detta värde används här för Brassica-arter.



**Figur 9.** a. Relation mellan bladvattenpotentialen och stomataresistansen ( Kowalik & Eckersten, 1984). b. Relation mellan solstrålning och stomataresistans ( Feddes m fl, 1978). Observera dock att  $r_s$  aldrig tillåts bli lägre än  $r_{sMin} = 150 \text{ s m}^{-1}$ .

Den aerodynamiska resistansen  $r_a$  varierar alltefter växtens höjd, vindhastigheten och bladens storlek ( Monteith, 1965). Vanligtvis varierar  $r_a$  mellan  $10\text{-}300 \text{ s m}^{-1}$  vid normal vindhastighet och bladstorlek (Slatyer, 1967). I simuleringarna var  $r_a$  ca  $40 \text{ s m}^{-1}$ . I modellen beräknas  $r_a$  enligt följande formel (Persson & Lindroth, 1992) där  $A_{ii}$  är bladytaindex och  $u$  är vindhastigheten.

$$r_a = \frac{(a_{Li} + b_{Li} A_{ii})}{u} \quad (12)$$

Markens hydrauliska resistans  $r_r$  är definierad av ekvationerna 13 och 14

$$r_r = \frac{b}{k(\psi_s)} \quad (13)$$

$$k(\psi_s) = a(\psi_s)^{-n} \quad (14)$$

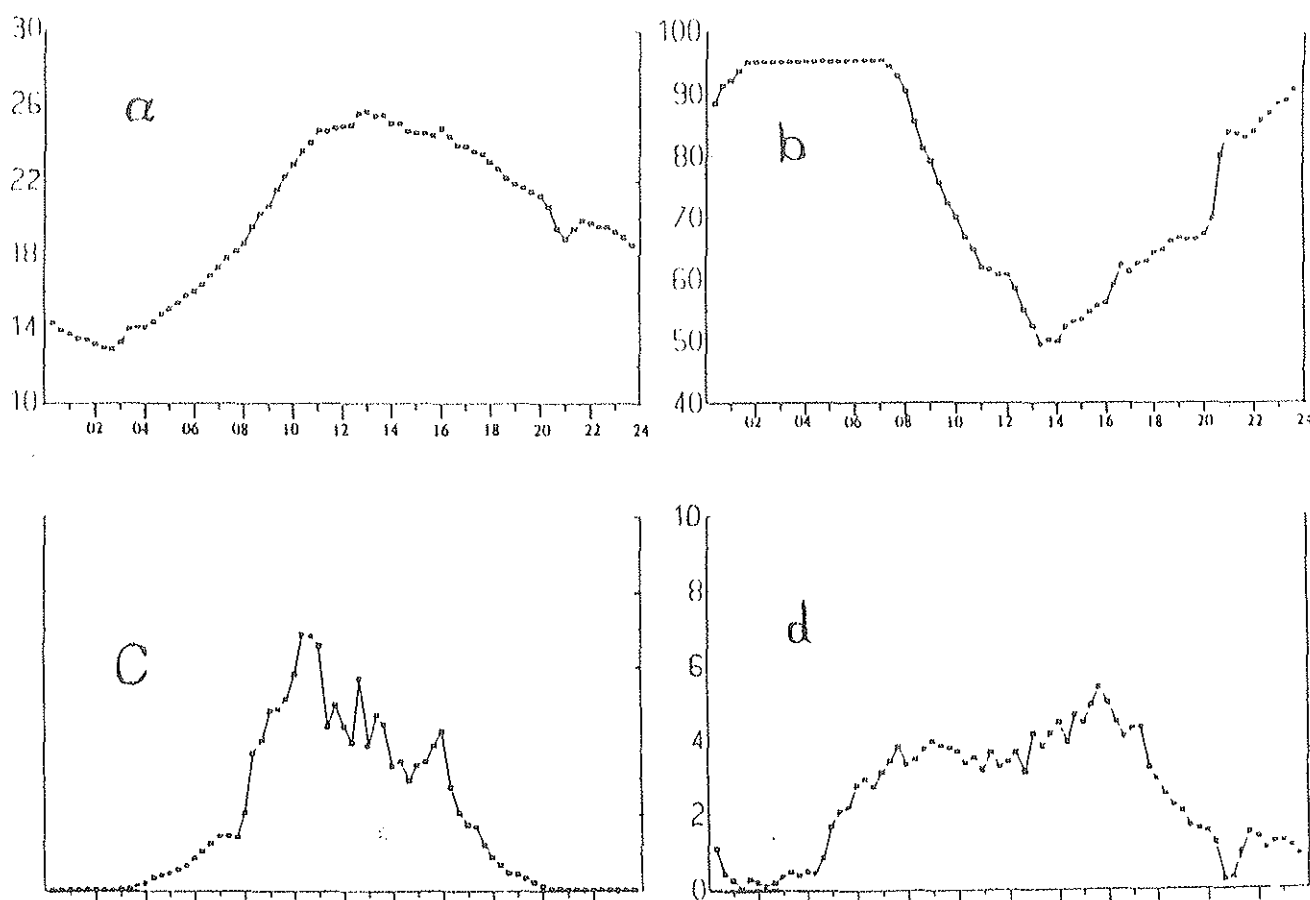
där  $b$  är rotdensitetresistansen, en faktor som tar hänsyn till rötternas längd och geometri.  $k(\psi_s)$  är den omättade hydrauliska konduktiviteten som beräknas från markvattenpotentialen i ekvation 2 där  $n$  brukar vara mellan 2 och 3 för fintextur jord och omkring 5 för sandjord (Kowalik, & Eckersten, 1984). Symbolen  $a$  är en koefficient. För en mättad lerjord  $d$  kan enligt Kowalik & Eckersten (1984), koefficienten  $a$  och exponenten  $n$  sättas till  $a = 1,62 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  och  $n = 2,1$ . Parametern  $b$  kan sättas till  $4,0 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  (Gardner & Ehlig, 1963). Det bör påpekas

attmarkens hydrauliska resistans har enheten  $\text{MPa s m}^{-2} \text{g}^{-1}$  i SI-systemet. Data för resistansen mot vattenflöde i växten fanns inte tillgängliga så först använde vi ett värde för sojaböna ( $16 \text{ MPa s m}^{-2} \text{g}^{-1}$ , Kowalik & Turner 1983) men det visade sig att detta värde är för stort för Brassica och att bladvattenpotentialkurvorna hamnade på en orimligt låg nivå. Eftersom jag saknade oberoende bestämningar på  $r_p$  för Brassica bestämde jag värde på  $r_p$  genom att jämföra simulerade bladvattenpotentialvärden med de mätta värdena. Detta gav  $r_p=5 \text{ MPa s m}^{-2} \text{g}^{-1}$  för båda arterna.

## RESULTAT

### Mätt och simulerad bladvattenpotential

För bestämning av de tidpunkter under dagen då avdunstningen från plantorna är som högst och jämnast genomfördes dygnsvariationsstudier av bladvattenpotential på leran. Studierna omfattade både kontrollparcellerna och stressparcellerna. Målsättningen med vattenpotentialmätningarna var att fastställa den tidpunkt under dagen då växterna uppvisade den högsta stressgraden, dvs den tidpunkt då bladens vattenpotential var som lägst. Samtidigt eftersträvades att mätningarna skulle genomföras under en dag med minsta möjliga variation i väderleken därför att stor variation i vädret kan orsaka stora fel i vattenpotentialbestämningarna.



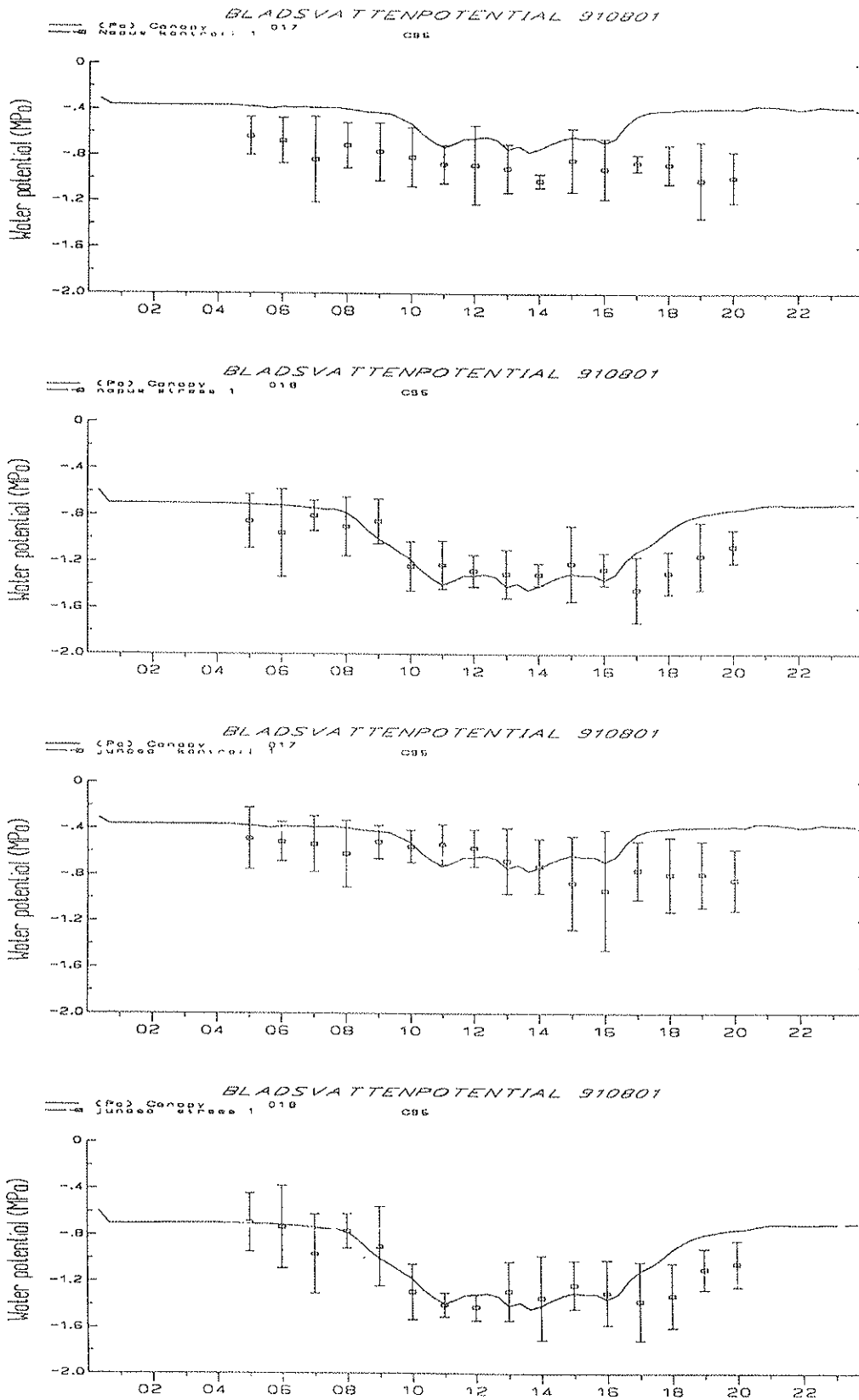
Figur 10. Dygnsvariation för väderleksdata (a: lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), b: relativ luftfuktighet, (%) c: globalstrålning ( $\text{W/m}^2$ ), d: vindhastighet ( $\text{m/s}$ )).

Mätningarna genomfördes den 1 augusti 1991. Vädret var halvsoligt med svag vind. Dygnet medeltemperatur var 20,0 °C . Ingen nederbörd eller bevattning förekom denna dag och penman-avdunstningen från en öppen vattenyta var 3,5 mm/dag. I figur 10 visas variationen inom den aktuella dagen för de vädervariabler som användes som drivdata till modellen.

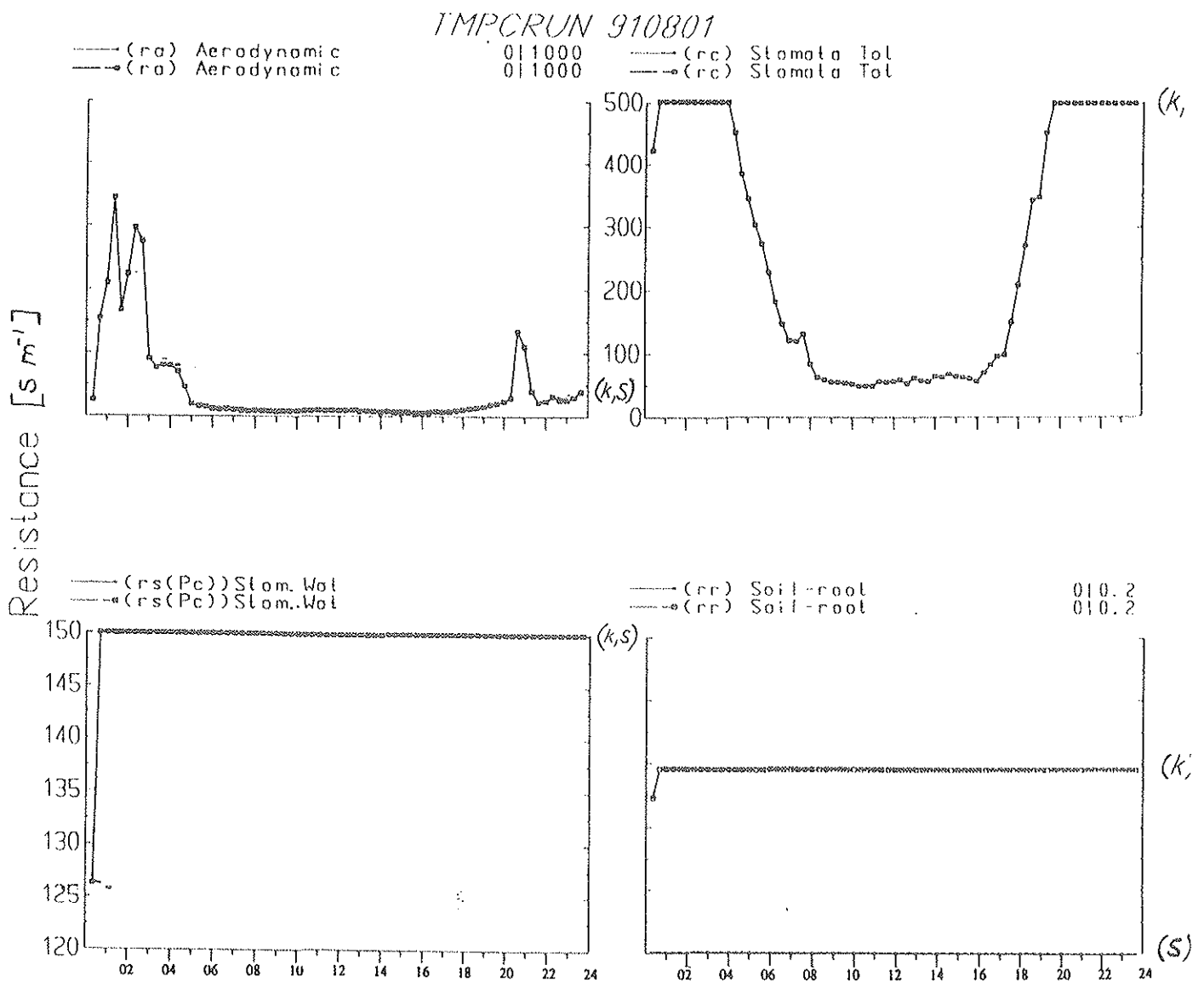
Marken bevattnades två dagar före mätningarna och på den kontrollerade delen hade marken 5 mm vattenöverskott, dvs 5 mm mer än fältkapacitet. Stressleden hade däremot ett vattenunderskott på 50 mm. Skillnaden i vatteninnehållet i marken avspeglas i mätvärdena på vattenpotentialen i bladen. Kurvorna följer varandra nästan parallellt med en skillnad av 0,3-0,4 MPa för rapsen (napus) och 0,4-0,6 MPa för sareptasenapen (juncea).

Mätvärdena på vattenpotentialen hos napus-kontroll sjönk markant från kl 9 på morgonen och fortsatte att sjunka till kl 14. Därefter förblev den konstant. Hos juncea-kontroll däremot började vattenpotentialen sjunka en timme senare, dvs kl 10, och fortsatte att sjunka till kl 16, varefter vattenpotentialen ökade. Hos stressleden är situationen annorlunda. Napus-stress började sjunka från -0,9 MPa kl 9 till -1,2 MPa kl 10. Därefter höll den sig konstant till kl 17, varefter den steg. Kl 20 nådde den upp till -1,1 MPa. Vattenpotentialen hos juncea-stress började sjunka från -0,8 MPa kl 8 på morgonen till -1,4 MPa kl 11, varefter vattenpotentialen höll sig konstant. Kl 17 började kurvan stiga uppåt igen tills den stabiliserades omkring -1 MPa kl 20. Det lägsta värdet på vattenpotentialen uppmättes mellan kl 15 och 17 på både kontroll- och stressleden. Om man jämför mätkurvorna för kontroll- och stressleden kan man se att gapet mellan dem är större för juncea än för napus.

En förklaring till denna skillnad erhålls då vi med SPAC-modellen försöker simulera den observerade vattenpotentialen. Vattenpotentialen simulerades för den dagen då mätningarna utfördes (1 augusti, 1991) (se figur 11). På morgonen innan solen går upp är vattenpotentialen ungefär densamma som markvattenpotentialen. När solen börjar skina öppnas klyvöppningarna, stomataresistansen minskar och växten förlorar vatten genom transpiration (figur 12). Vattenpotentialen börjar minska kl 8 på morgonen till dess den, kl 11, nått sitt minimala värde. Resten av dagen ligger vattenpotentialen på en låg, nästan konstant, nivå, eftersom växten fortlöpande förmår hålla sin vattenstatus i balans genom reglering av transpirationen via stomataresistansen.



Figur 11. Bladvattenpotentialvariationen under ett dygn hos rapsen ( napus) och sareptasenapen (juncea) enligt mätning (staplarna; medelvärde och 95% konfidensintervall) och simulering (heldragen linje).



**Figur 12.** Fyra resistansdiagram för båda parcellerna kontroll (k) och stress (s), under ett dygn.

De små variationer som förekommer avspeglar väderleksvariationer. Vid t.ex. en vindhastighetsökning minskar den aerodynamiska resistansen, vilket i sin tur ökar transpirationen med låg vattenpotential som följd. På morgonen är bladytan ett par grader varmare än omgivningen (se figur 13 i diskussionsavsnittet). Förklaringen till detta värmeöverskott är att bladen inte kan kyla sig till en lägre nivå. När instrålningen minskar på eftermiddagen ökar vattenpotentialen (kl 16), därför att klyvöppningarna börjar stänga (och stomataresistansen ökar) vilket förhindrar att växten förlora det vatten den tar upp. Kl 20 har klyvöppningarna stängts helt och vattenpotentialen återgått till ett högt värde i närheten av markvattenpotentialen. Samtidigt sjunker bladytans temperatur pga minskad solstrålning och bladen blir kallare än omgivningen.

Avvikelserna mellan simulerade och mätta värdena beror på olika faktorer. Modellen utgår ifrån klimatfaktorer (lufttemperatur, luftens relativa fuktighet, vindhastighet, solstrålning samt nederbörd), växtens egenskaper (olika resistanser, växtens form, tillväxt osv) och markförhållandena. Klimatfaktorer kan utelämnas som förklaringsgrund eftersom klimatet var detsamma för alla försöksleden. De parametrar som då kan variera är växtens egenskaper och markförhållandena. Den aerodynamiska resistansen ( $r_a$ ) (ekv. 12) varierar med vindhastigheten, plantans höjd, ytans skrovlighet, bladens form, bladens ytbeskaffenhet och bladverkets täthet. I SPAC-modellen ansattes samma värde (dock ej konstant över tiden) på  $r_a$  för alla försöksleden. Emmellertid var höjden och bladverkets täthet mindre hos plantorna i stressleden än kontrollleden pga att kontrollleden hade tillgång till vatten och kunde växa bättre. Detta antagande föranledde troligen att  $r_a$  överskattades något för stressleden och därmed också vattenpotentialen. Även bladens ytbeskaffenhet skiljer sig åt mellan napus och juncea. Juncea är hårigare än napus, vilket motsvarar ett högre  $r_a$  som i sin tur minskar transpirationen och höjer bladvattenpotentialen. Varför jag inte tog hänsyn till dessa skillnader beror på att det krävs många mätningar och undersökningar för att fastställa värdena och att effekterna av dessa skillnader troligen är små, speciellt i jämförelse med den betydligt större stomataresistansen ( $r_s$ ).

Stomataresistansen ( $r_s$ ) beror på växtens fysikaliska och morfologiska egenskaper. Den kan variera med växtart och sort. Stomataresistansens värde kan även variera med solstrålningens intensitet och växtens vattenstatus. I simuleringarna sattes minsta ( $r_{sMin}$ ) och största ( $r_{sMax}$ ) värdet till  $150 \text{ s m}^{-1}$  respektive  $6000 \text{ s m}^{-1}$  räknat per bladyteenhet. Solstrålningen är densamma för båda arterna och för kontroll och stressleden. Modellen tar hänsyn till växtens vattenstatus genom att markvattenpotentialen är olika hos kontroll och stressleden. Som tidigare nämnts varierar stomataresistansen ( $r_s$ ) beroende på arten. I mina simuleringar tog jag av brist på data inte hänsyn till detta. Detta kan vara en orsak till att simuleringarna avviker från mätningarna. Om man till exempel sätter  $r_{sMin}$  till  $100 \text{ s m}^{-1}$  (i stället  $150 \text{ s m}^{-1}$ ) för juncea, höjs vattenpotentialen och avvikelserna från mätningarna minskar. Resultaten från simuleringar visar att  $r_s(\psi_c)$ -kurvorna för både kontroll och stress är konstant lika med  $150 \text{ s m}^{-1}$ . Detta kan förklaras av att i simuleringarna så var växterna aldrig så starkt stressade att stomata stängde. Sätter man  $r_{sMin}$  till  $100 \text{ s m}^{-1}$  ser man däremot en stängning av stomata i stressleden. Som sagt data saknas som kan testa dessa simuleringar av  $r_s$ . I modellen används stomataresistansen per markyttenhet ( $r_c$ ). Förutom problemet att bestämma stomataresistansen per bladyteenhet tillkommer alltså problemet att bestämma det integrerade värdet för hela bladverket. I modellen antas att alla stomata är parallellkopplade och att alla blad har samma vattenpotential. För strålningen antas dock att den avtar med djupet ned i bladverket (Eckersten, 1991). Om vi t ex antar att bladvattenpotentialen varierar inom bladverket så blir stomataresistansen ej densamma som förut även att medel-vattenpotentialen fortfarande är densamma. Angående osäkerheten i  $r_s$  och  $r_c$  se vidare diskussionsavsnittet.

För bestämning av ett  $r_p$ -värde simulerades först modellen med samma värde som sojabönor ( $16 \text{ MPa s m}^2 \text{ g}^{-1}$ ). Som tidigare nämnts gav detta värde orimligt låg bladvattenpotential. Då  $r_p$  ändrades till ett värde mellan 5 och  $7 \text{ MPa s m}^2 \text{ g}^{-1}$  följde simuleringens värdena mätvärdena. Vi kan fastställa detta  $r_p$ -värde eftersom vi vet markvattenpotentialvärdet för kontrollleden vilket ger att mark-rotresistansen måste varit mycket låg. Med ett  $r_p$  av  $5 \text{ MPa s m}^2 \text{ g}^{-1}$  följde alla simuleringsskurvorna mätkurvorna. Kurvan för napus-kontroll överskreds dock. Med ett  $r_p$  värde på  $7 \text{ MPa s m}^2 \text{ g}^{-1}$  följer simulerade kurvan mätkurvan. Vilket av värdena som är det korrekta är svårt att avgöra därför att man inte vet markvattenpotentialen ( $\psi_s$ ) i stressleden för om man höjer markvattenpotentialen i stressleden från  $-0,7$  till  $-0,5 \text{ MPa}$  och samtidigt sätter  $r_p$  lika med  $7 \text{ MPa s m}^2 \text{ g}^{-1}$  så får vi också god överensstämmelse för napus, dock inte



för juncea. Men  $7 \text{ MPa s m}^2 \text{ g}^{-1}$  verkar vara för stort för juncea. En ändring som däremot ger god överensstämmelse för båda arterna är om man sätter vattenpoolen för juncea dubbelt så stor som för napus.

Mark-rotresistansen ( $r_r$ ) varierar i takt med markvattenpotentialen och rötternas spridning. Resultaten från simuleringarna visar att  $r_r$  måste vara konstant och låg för både stress och kontrollleden. Detta beror på att i kontrollleden vattentillgången är god och därmed  $r_r$  liten. I detta fall är rötternas utspridning begränsad, därför att rötterna inte behöver sprida sig och söka vatten. Däremot i stressleden söker sig rötterna ner mot grundvattnet och försöker sprida sig så mycket som möjligt. Den lägre markvattenpotentialen ökar  $r_r$  men den ökade rotutspridningen minskar  $r_r$ . Därför sattes  $r_r$  lika lågt för stressledet som för kontrollledet.

Simuleringsresultatens avvikelser från mätvärdena kan grovt delas upp enligt följande (figur 11). För det första vattenpotentialen för napus-kontroll överskattades speciellt under den del av dygnet då solen står lågt. För det andra, i de övriga simuleringarna, juncea både kontroll och stress och napus-stress, överskattades vattenpotentialen under kvällen. Den simulerade bladvattenpotentialen börjar sjunka först när solen stiger upp och transpirationen kommer igång. Bladvattenpotentialökningen börjar när instrålningen minskar och växtens vattenförluster minskar. Mätvärdena ökar inte på samma sätt. Denna skillnad kan förklaras av två mätfel. Det första är att blad för mätningarna plockades från olika platser, vilket gjorde att bladen hade påverkats olika av instrålningen beroende på dess läge. Andra orsaken är eventuella fel som kan beror på svårigheter att se de första blåsorna från bladet i tryckkammaren, vilket i sin tur ger fel värde på vattenpotentialen, eller fel placering av blad i tryckkammaren etc. Vid sådana situationer är troligen simuleringsvärdena mer pålitliga än mätvärdena.

Några mätningar resulterade i förbryllande värden. Så uppvisar t. ex napus-kontroll det märkliga förhållandet att bladvattenpotentialen sjunker mellan kl 5 och kl 7 på morgonen, för att sedan plötsligt stiga vid 8-tiden. Även på eftermiddagen uppträder till synes oförklarliga skiftningar i bladvattenpotentialen hos napus-kontroll. Potentialen stiger sålunda mellan kl 16 och kl 18, sjunker vid 19-tiden och stiger sedan åter kl 20. Sådana underliga värden kan sammanhålla med ovan nämnda felkällor.

## DISKUSSION OCH SLUTSATSER

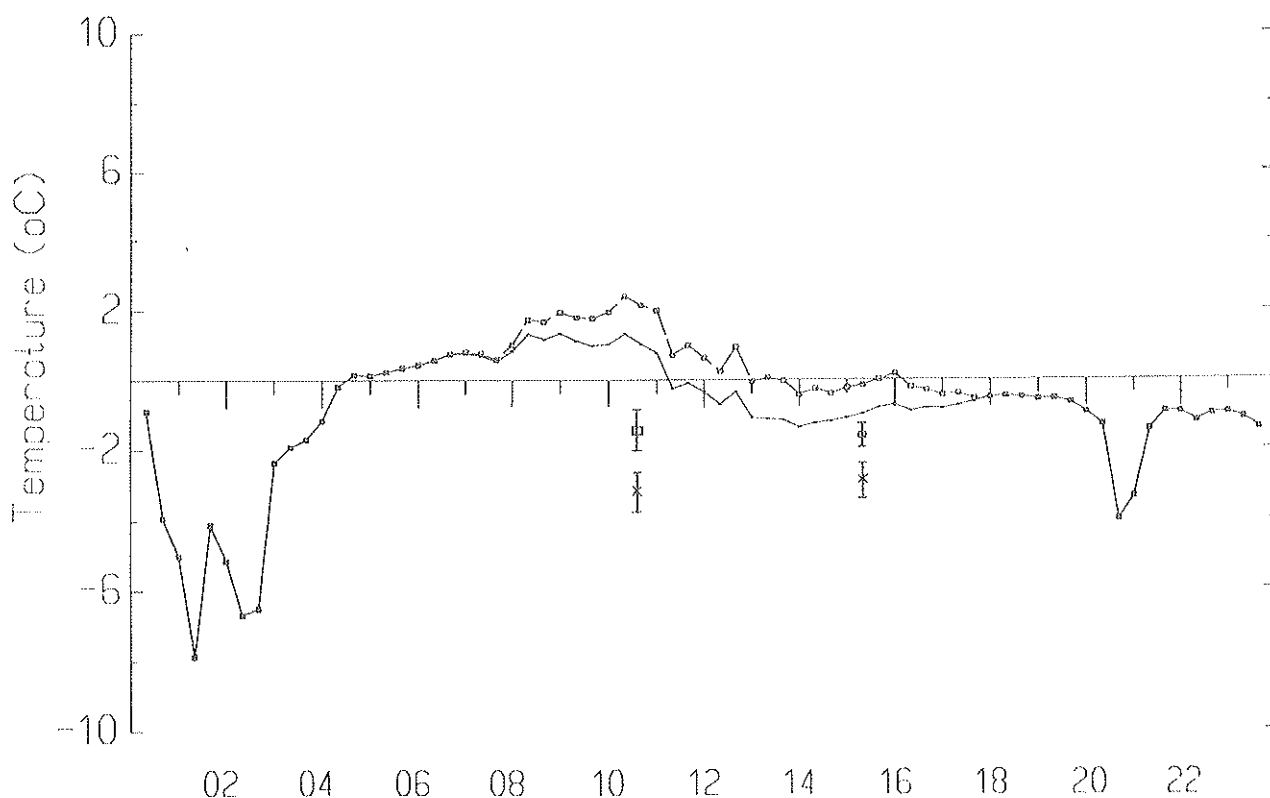
Efter olika simuleringar har jag fått olika resultat beroende på vilka parametrar jag använt. Frågan är om man ska nöja sig med simuleringar eller om mätningar måste genomföras vid varje försök. När rätt parameter användes kan modellen ge mera pålitliga resultat än mätningarna av bladvattenpotential, bladtemperatur och transpiration. Det som är viktigt är att då mäta klimatdata och markförhållandena. För övrigt tycker jag att man bör kunna använda modellen som ett hjälpmedel för att underlätta mätningar på så sätt att man genom simuleringar kan se om resultaten ligger inom den rimliga ramen eller ej.

Simuleringarna visar att bladens temperatur vanligen är högre än omgivningens (i det här fallet hela förmiddagen), pga värmeöverskott och brist på vatten. Bladen är kallare när energitillförseln är låg, t. ex. efter solnedgången eller när vattentillgången är mycket god. Vid försöket mättes även temperaturdifferensen mellan bladytan och luften. Preliminära utvärderingar visar att för nästan alla mätningar som gjordes på stress- och kontrollleden i lerjorden är bladen hela tiden några grader kallare än omgivningen. Detta stämmer alltså inte

med teorin. Den temperaturdifferensen som modellen visar är en avspeglning av omgivningens temperatur, vindhastighet, instrålningens intensitet och bladens vattenstatus. I avsikt att klarlägga vid vilken situation bladen kan bli lika mycket kallare än omgivningen som mätningarna visar så simulerades modellen med olika parametrar. Simuleringarna visade att om detta ska ske måste alla resistanserna vara låga, vattentillgången god och instrålningen låg. Men förutom att dessa antaganden i sig är orimliga blir också den simulerade bladvattenpotentialen nu alldeles för hög. Detta innebär att teorin formulerad i SPAC omöjligen kan sammankoppla mätresultaten av dels blad-luft temperaturdifferensen och dels bladvattenpotentialen. Åtminstone en av mätningarna måste vara fel. Troligen är vattenpotentialmätningen mest korrekt eftersom den kunde simuleras under rimliga antaganden.

*TMPCRUN 910801*

— (Ts-To)Surf-air 002  
 - - - (Ts-To)Surf-air 005



**Figur 13.** Variationen över dygnet av skillnaden mellan bladens och luftens temperatur under ett dygn. Heldragen linje motsvarar originalsimuleringarna (se Fig. 11). Den streckade linjen motsvarar stressledet i det fallet då stomata resistansen antagits vara högre (se text). Staplarna visar motsvarande mätningar som gjordes (medelvärde och en standardavvikelse) (Efter Göran Johansson, 1991).

Vi antar att eventuella fel i temperaturmätningen beror på en systematiskt för låg registrering av bladytetemperaturen (som gjordes med en för sådana ändamål ofta använd värmekamera) och/eller för hög registrering av lufttemperaturen (som gjordes med en temperaturgivare på värmekameran). I så fall är skillnaden i blad-lufttemperaturdifferensen mellan stress- respektive controlledet som ges av mätningarna riktiga (1.5-2 °C, Fig. 13). I simuleringarna för jämförelsen med vattenpotentialen (Fig. 11) så uppstod inte denna skillnad därför att

växten aldrig blev så vattenstressad att stomata började stänga. Ansätter vi däremot en högre stomata resistans vid sjunkande bladvattenpotential (50% högre räknat per markyteenhet) så ger simuleringarna resultat liknande skillnaderna mellan mätningarna (se Fig. 13). Detta indikerar att vårt antagande om en lika låg mark-rot resistans för stressledet som för kontrolledet troligen ej är helt korrekt. Den relativt sätt höga vattenstatusen i växten för stressledet kan troligen till en del också förklaras av en högre stomataresistans.

Slutsatsen är att jag med hjälp av simuleringar och jämförelse med mätningar kunde bestämma ett  $r_p$  värde för Brassica (5 - 7 MPa s m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). Dessutom kunde man se att vattenpoolen eventuellt är större för juncea än för napus (nästan dubbelt). Vid mätningarna har troligen systematiska fel förekommit vilket indikeras av jämförelsen mellan mätningar och simuleringar; för låga bladvattenpotentialer på kvällen och flera grader för låga bladlufttemperaturdifferenser. Simuleringarna för stressleden visar dessutom att  $r_r$ -värdet för den aktuella växten och lerjorden är mycket lågt även då marken är "torr", dvs växten har fått tag på vatten trots att marken ej bevattnats.

## SLUTORD

Ett hjärtligt tack riktas till min trevlige och positive handledare Henrik Eckersten, som med sina konstruktiva kommentarer lotsat mig fram mellan examensarbetets alla grynnor och blindskär. Jag tackar även Anders Bjerketorp för hans noggranna nagelfarande av uppsatsens utformning samt Hans Svensk, Weibulls AB, för hans tillmötesgående medgivande att utnyttja opublicerade bladvattenpotentialdata.

## SAMMANFATTNING

Sommaren 1991 pågick ett projekt rörande olika Brassica-varianter. Försöken ägde rum under ett skärmtak på Sveriges Lantbruksuniversitet. Man ville se skillnaden mellan närbesläktade arter (raps och sareptasenap) och olika sorter av dessa med avseende på deras reaktion på vattenbrist samt hur vattenbrist påverkar skörden. Vattenpotentialen i bladen är ett tecken på växternas reaktion på vattenbrist och värmeöverskott. Mätningarna gjordes under ett dygn (1 augusti 1991) av bladvattenpotential (med tryckkammare) och markvattenpotential. Bladvattenpotentialen simulerades dessutom med en transpirations-modell (SPAC) som beskriver vattnets väg från marken till växten och slutligen till atmosfären. Det finns olika resistanser (mark-rotresistansen, plantresistansen, stomata-resistansen och aerodynamiska resistansen). För att flöde skall kunna passera denna väg krävs en potentialskillnad precis som i Ohms lag, dvs flödet är kvoten mellan potentialskillnaden och resistansen. De flesta resistanser styrs av klimatfaktorer (solstrålning, luftens relativa fuktighet, lufttemperatur, vindhastighet och nederbörd). Mark-rotresistansen bestäms även i hög grad av markförhållandena och plantresistansen styrs delvis av växternas morfologiska och fysiologiska tillstånd.

Bladvattenpotentialmätningar jämfördes med motsvarande simulerade värden med SPAC-modellen utgående från faktiska klimatdata. Olika parametrar för simuleringarna hämtades från litteraturen. Det visade sig att modellen relativt väl överensstämde med mätningarna för de vattnade försöksleden om plantresistansen var låg (5 MPa s m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>). Stressledens vattenpotential blev lägre, men det visade sig att trots den lägre markvattenpotentialen så var

mark-rotresistansen obetydligt högre än för de vattnade parcellerna. En mindre undersökning om temperaturdifferenser mellan bladyta och luft gjordes också. Teorin formulerad i SPAC-modellen visade att temperatur och bladvattenpotentialmätningarna ej överensstämde med varandra. Det bör gå att i framtiden använda modellen som ett hjälpmedel för att underlätta mätningar. Man kan då få veta vilka parametrar som är nödvändiga att mäta för att få ett bra resultat av försöket.

## SUMMARY

During the summer 1991 a project about Brassica sortes was carried out. The experiment was conducted under a shelter under field conditions at the Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The aim was to see differences in behaviour between different species regarding the influence of drought conditions. The leaf water potential and leaf-air temperature difference are indications of plant reaction. Measurements were made during one day (1 august 1991) of leaf water potential and soil water potential. Also a minor investigation of leaf-air temperature differences was made. The leaf water potential was also simulated with a transpiration model (SPAC) which describes the pathway of water from the soil to the atmosphere. There are different resistances (soil-root resistance, plant resistance, stomata resistance and aerodynamic resistance). To enable movement of water, a potential difference is needed. It is based on the same principles as Ohm's law. The rate of flow is the ratio between the potential difference and the resistance. The resistances are depending on climate factors (global radiation, air relative humidity, air temperature, wind speed and precipitation). Soil-root resistance depends also on soil conditions and the plant resistance is controlled by the morphological and physiological condition of the plant. The results obtained from simulation with the SPAC - model, based on climatic data, were compared with the measurements of the leaf water potential. The results from the model corresponded with the measurements done on the irrigated plots when the plant resistance was low ( $5\text{MPa s m}^2 \text{g}^{-1}$ ). The water potential measured on the stressed plot became lower. We noticed that the soil water potential was lower and concluded that the soil-root resistance remained at about the same low level as for the irrigated plots. It was also shown that the SPAC-model simulation was not able to give good agreement with the measured leaf water potential and the measured leaf air temperature difference simultaneously. From the point of view of the theory represented by the model at least one of the measurements must have been wrong. It should be possible in the future to improve and/or replace manual measurement techniques with the SPAC - model.

## REFERENSER

- Eckersten, H. 1991. Simulation model for transpiration, evaporation and growth of plant communities. SPAC-GROWTH: Model description. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 164.
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J. & Zaradny, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- Gardner, W.R & Ehlig, C.F. 1963. The influence of soil water on transpiration of plants .J. Geoph. Res. 68:5719-5724.
- Hall, M. A. 1976. Plant structure function and adaptation. London: Macmillan Press
- Johansson, G. 1991. Opublicerade data från försöksfälten. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst för markvetenskap, Box 7014 , 75007 Uppsala.
- Kowalik, P.J. & Eckersten, H . 1984. Water transfer from soil through plants to the atmosphere in willow energy forest. Ecol. Modelling 26:251-284.
- Kowalik, P.J. & Turner, N.C. 1983. Diurnal changes in the water relations and transpiration of a soybean crop simulated during the development of water deficits. Irrig. Sci. 4: 225-238.
- Kramer, P. J. 1983 Water relations of plants. San Diego, California: Academic press.
- Lewan, L. 1988. Leaf water potential in Brassica napus and Brassica juncea during drought stress. Agri Hortique Genetica 46:49-59.
- Mohamed, A. Ali, Ohlsson, I. & Svensk, H. 1988. Drought responses in rapeseed (Brassica juncea L. and Brassica napus L.). Growth yield and yield components. Agri Hortique Genetica 46:16-48.
- Monteith, J.L. 1965. Evaporation and environment. In: Fogg, G.E.,(ed), The state and movement of water in living organisms. Soc. Exp. Biol. Symp. 19:205-234.
- Persson, G. & Lindroth, A. 1992. Assessment and parameterization of a soil water balance made on a short rotation forest. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala . Manuskript.
- Rijtema, P. E. 1965. An analysis of actual evapotranspiration. Agric. Res. Report. 659. Wageningen: Pudoc
- Simpson, G . M . 1981 . Water stress on plants. New York: Praeger Publisher.
- Slatyer, R. O. 1957. The influence of progressive increases in soil moisture stress on transpiration, growth and internal water relationships of plants. Aust. J. Biol. Sci. 10:320-336.
- Slatyer, R. O. 1967. Plant water relationships. London & New York: Academic Press.
- Soilmoisture Equipment Corp . Operating instructions for the model 3000 & 3005 plant water status console. Santa Barbara. California.
- Squire, G.R., Black, C.R. & Gregory, P.J. 1981. Physical measurements in crop physiology II. Water relations. Expr. Agric. 17: 225- 242.



Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.  
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1990

- 90:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1989 års fältförsök avseende detaljavvattnig, markvård och markförbättring samt bevattning. 73 s.
- 90:2 Jansson, P.-E. (ed.). The Skogaby Project. Project description. 77 s.
- 90:3 Berglund, K., Lindberg, K. & Peltomaa, R. Alternativa dräneringsmetoder på jordar med låg genomsläpplighet. 1. Ett nordiskt samarbetsprojekt inom Nordkalottområdet. 20 s.
- 91:1 Linnér, H., Persson, R., Berglund, K. & Karlsson, S.-E. Resultat av 1990 års fältförsök avseende detaljavvattnig, markvård och markförbättring samt bevattning. 92 s.
- 91:2 Persson, R. & Wesström, I. Markkemiska effekter av bevattning med Östersjövatten på Öland. 23 s + 5 bil.
- 91:3 Eckersten, H. WIGO model. User's manual. 30 s.
- 91:4 Eckersten, H. SPAC-GROWTH model. User's manual. 32 s.
- 91:5 Stenlund, S. Rainwater harvesting - Metoder för uppsamling av regnvatten för bevattning. En litteraturoversikt. 24 s.
- 91:6 Jansson, P.-E., Eckersten, H. & Johnsson, H. SOILN model. User's manual. 49 s.
- 91:7 Jansson, P.-E. SOIL model. User's manual. 59 s.
- 91:8 Wesström, I. Liste des publications du sujet "Besoin en eau des plantes et irrigation en climat semi-aride". 32 s.
- 92:1 Rockström, J. Framtidens livsmedelsförsörjning i världens torra regioner: Begränsas den av tillgången på vatten? 106 s.
- 92:2 Kerje, T. Erosionsmätningar i Nicaragua. 35 s.
- 92:3 Burujeny, M. B. Dygnsvariation i bladvattenpotential hos raps och senap. Mätningar och simuleringar. 27 s.

