



SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET  
UPPSALA

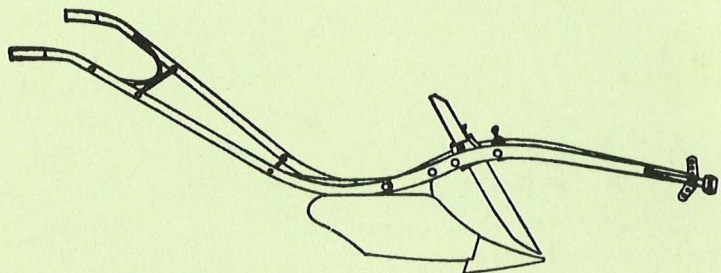
INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

# RAPPORTER FRÅN \_\_\_\_\_ JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,  
S-750 07 Uppsala

Department of Soil Sciences

Reports from the Division of Soil Management



Nr 74

1987

Tomas Rydberg & Torbjörn Öckerman  
PLÖJNINGSFRI ODLING--DESS INVERKAN  
PÅ ROTUTVECKLING OCH EVAPORATION

*THE EFFECTS OF PLOUGHLESS TILLAGE ON  
ROOT DEVELOPMENT AND EVAPORATION*

ISBN 91-576-3074-7



Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för jordbearbetning  
Box 7014  
750 07 UPPSALA

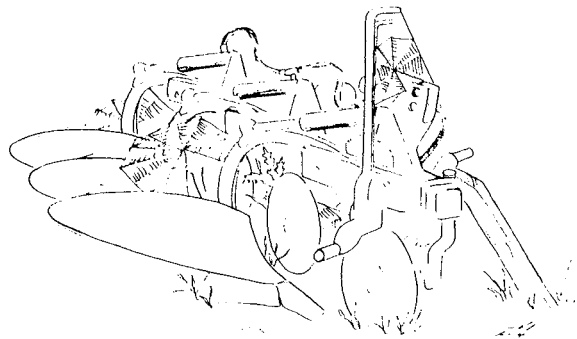
Rapporter från jordbearbetningsavdelningen  
Nr. 74, 1987

ISBN 91-576-3074-7

Tomas Rydberg & Torbjörn Öckerman

PLÖJNINGSFRI ODLING -- DESS INVERKAN PÅ ROTUTVECKLING OCH  
EVAPORATION.

*THE EFFECTS OF PLOUGHLESS TILLAGE ON ROOT DEVELOPMENT AND  
EVAPORATION.*



INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sid.
INLEDNING	1
FÖRSÖKSPLATSER, UNDERSÖKTA LED OCH SKÖRDERESULTAT	1
STATISTISKA BERÄKNINGAR	3
VÄDERLEKSFÖRHÅLLANDEN UNDER 1985	3
ROTSTUDIER	4
METODIK	4
RESULTAT	6
DISKUSSION	21
EVAPORATIONSSTUDIER	25
METODIK	25
RESULTAT	32
DISKUSSION	39
AVSLUTANDE SYNPUNKTER	44
SAMMANFATTNING	44
SUMMARY	47
LITTERATUR	49

## INLEDNING

I avdelningen för jordbearbetningens regi pågår sedan mitten av 1970-talet forsknings- och försöksverksamhet kring frågor som behandlar plöjningsfri odling. Huvudsyftet är att undersöka möjligheterna att ersätta den årliga höstplöjningen, till 20-25 cm, med ytligare stubbearbetningar till ca 10 cm.

Under åren 1980-84 har i vissa av de långliggande försöken markkemiska och markfysikaliska effekter av den plöjningsfria odlingen studerats. Resultaten finns publicerade i jordbearbetningens rapportserie nr 70 (Rydberg, 1986). I rapporten framhålls en ökad kompaktet i centrala matjorden som den största negativa effekten av plöjningsfri odling. Den ökade kompakteten har bl a visat sig kunna ha en mycket hämmande inverkan på rotutvecklingen och orsaken antas i första hand vara ett högre mekaniskt motstånd. Som de största positiva effekterna framhålls en reducerad evaporationshastighet och därav en förbättrad vattenhushållning, samt en förbättrad genomsläpplighet (porkontinuitet, rotframkomlighet) i plogsulan.

Då den gjorda rangordningen av effekternas betydelse har ett stort inflytande på det fortsatta arbetet med att optimera resultaten med plöjningsfri odling (Rydberg, 1986); då rotstudierna endast utförts i matjorden och i ringa omfattning; då de direkta bevisen på att evaporationshastigheten reduceras endast härrörde från ett pilotprojekt och då inga internationella arbeten om evaporation i samband med enbart ytliga bearbetningar hade påträffats gjordes bedömningen att den plöjningsfria odlingens effekter på rotutveckling och evaporation borde undersökas ytterligare.

Under år 1985 har därför rotutveckling och evaporation varit föremål för utökade studier och resultaten från dessa presenteras i denna rapport.

Projektet har till stora delar finansierats av från lantbruksuniversitetet under budgetår 1984/85 särskilt avsatta medel för markekologisk forskning.

I rapporten har rotstudiernas metodik- och resultatdel samt sidorna 23-25 skrivits av ass. Tomas Rydberg och agr.stud. Torbjörn Öckerman tillsammans; övriga delar av Tomas Rydberg. Resultaten från rotstudierna har också använts i ett examensarbete av Torbjörn Öckerman med Tomas Rydberg som handledare.

## FÖRSÖKSPLATSER, UNDERSÖKTA LED OCH SKÖRDERESULTAT

Rotutvecklingen har studerats i fyra långliggande försök, varav ett ligger på Ultuna ca 6 km söder om Uppsala, två st på Säby gård (Säby I o II) ca 5 km SO om Uppsala och ett på Finnbo gård ca 15 km väster om Sala.

Evaporationsstudierna har genomförts på utborrade jordcylindrar från försöken på Ultuna, Säby I och Finnbo.

Uppgifter om försökens nummer, anläggningsår och exakta läge redovisas i tabell 1. I tabellen redovisas också en texturanalys och därtill hörande jordartsbeteckning samt vattenhalten vid dräneringsjämvikten och vissningsgränsen i matjorden.

Tabell 1. Sammanställning av vissa uppgifter om försöksplatser *Data on individual experiments*

Försöksplats <i>Site</i>	Försöks nr <i>Exp no</i>	Koordinater <sup>2)</sup> <i>Locality<sup>2)</sup></i>	Texturanalys <sup>3)</sup> <i>Particle size distribution<sup>3)</sup></i>		$w_{t1.0}$ <sup>4)</sup>	$w_{t150}$ <sup>4)</sup>	Jordart <i>Soil type</i>
			Matjord <i>Topsoil</i>	Alv, översta delen <i>Subsoil, the upper part</i>			
Ultuna	141/74 <sup>1)</sup>	6633.8/1603.5	50-29-19-2	54-26-18-2	32.6	18.4	nmh SL <i>Heavy clay</i>
Säby I	357/83	6636.1/1606.3	45-32-22-1	51-37-11-1	34.8	18.3	nmh SL <i>Heavy clay</i>
Säby II	358/83	6636.4/1606.5	25-20-54-1	28-22-49-1	33.7	11.9	nmh moll <i>Clay loam</i>
Finnbo	3/80	6644.8/1528.5	19-56-21-4	23-66-8-3	32.1	9.7	nmh mjLL <i>Silty clay loam</i>

1) Anläggningsår. *Year of start.*

2) Koordinater enligt det system som används på ekonomiska kartan. *Mapping coordinates.*

3) Ler-mjåla-mo-sand i vikts-%. *Clay-silt-fine sand-sand in per cent by weight (limits 0.002, 0.02 and 0.2 mm resp).*

4) Vattenhalt i vikts-% vid ett bindningstryck av 1.0 och 150 m vp. *Water content (%w/w) at a matric tension of 1.0 and 150 m water column.*

Växtföljden har på alla försöksplatser under den senaste 10-års perioden dominerats av stråsäd med oljeväxter som omväxlingsgröda. År 1985 var grödan på Ultuna vårvede med våroljeväxter som förfrukt, på Säby I och II korn med havre som förfrukt och på Finnbo havre med korn som förfrukt. Vårsådden år 1985 utfördes den 9/5 på Ultuna, den 13/5 på Säby I och II och den 17/5 på Finnbo. Såbäddsberedning och sådd av plöjda och oplöjda led har alltid skett under en och samma dag på respektive försöksplats. Skörderesterna har under pågående försöksperiod i samtliga fall brukats ned. Mängden oförmultnade skörderester i ytskiktet i oplöjda rutur var vid vårbrukets start år 1985 mycket rikliga på Säby I och II, något mindre än normalt på Finnbo och på Ultuna. Växtnäringstillförseln har i huvudsak skett enligt gällande rekommendationer för respektive försöksplats. Någon hänsyn till de plöjningsfria rutornas extra behov av kväve under de första åren har inte tagits.

I samband med vårsådden år 1985 gödslades Ultunaförsöket med 350 kg N:28/ha, Säbyförsöket likaså med 350 kg N:28/ha och Finnboförsöket med 300 kg NPK 20-5-8/ha.

Försöken tillhör delvis olika försöksserier. I samtliga ingår dock de båda huvudleden konventionell bearbetning (P) och årlig plöjningsfri odling (PF). I det plöjningsfria ledet har den årliga höstplöjningen till 20-25 cm ersatts med ytligare stubbearbetningar med kultivator och eller tallriksredskap till ca 10 cm. Såbäddsberedning och sådd har i båda leden utförts på konventionellt sätt, d.v.s 3-4 harvningar med s-pinneharv och därefter separat sådd med kombisåmaskin. Vid samtliga evaporationsstudier är det dessa två huvudled som varit föremål för jämförelse. Rotstudierna på Säby I och II omfattar även en jämförelse med ett plöjningsfritt led där den konventionella såbäddsberedningen och sådden utförts i en enda överfart medelst harvsådd.

Målsättningen med harvsådd i ett plöjningsfritt led är främst att undersöka effekten av ett minskat antal överfarer och därav en minskad packning samt att studera de kraftuttagsdrivna harvarnas förmåga att bemästra rikliga skörderestmängder. Resultat och erfarenheter med harvsådd efter höstplöjning finns rapporterade av Cederlund (1982), Mårtensson (1984) och Huhtapalo (1985).

Hittills har det plöjningsfria ledet med konventionell såbäddsberedning och sådd varit det som avsetts med plöjningsfri odling, men då även det plöjningsfria ledet med harvsådd kan inrymmas i begreppet plöjningsfri odling så kommer för att undvika missförstånd det senare i fortsättningen att kallas för plöjningsfri harvsådd, (PFH).

På Ultunaförsöket har, med undantag för de två första och de två senast åren, kärnskoroden varit i genomsnitt 9 % högre vid plöjningsfri odling. Den något lägre skörden år 1984 förklaras till stor del av en större mängd kvickrot, *Elymus repens* (L.) Gould, i det plöjningsfria ledet. År 1985 orsakades den lägre skörden i första hand av ett i genomsnitt alltför grunt harvningsdjup i det plöjningsfria ledet och därav en försämrad uppkomst. På Finnboförsöket har den plöjningsfria odlingen resulterat i högre avkastning samtliga år, i genomsnitt ca 4 %. Från Säbyförsöken föreligger hittills inga meningsfulla skörderesultat. År 1984 kunde försöken inte skördas p.g.a riklig och långvarig nederbörd. År 1985 erhöles ett mycket luckigt och ojämnt bestånd i de plöjningsfria leden. Orsaken var att det vid sådden uppstod "stoppar" i såmaskinen p.g.a en alltför riklig mängd skörderester i ytskiktet. Rotstudierna på Säby och Ultuna har emellertid utförts på platser med fullgod beståndsutveckling.

## STATISTISKA BERÄKNINGAR

Samtliga uträkningar har utförts med en miniräknare, CompuCorp micro-statistican, model 342.

## VÄDERLEKSFÖRHÅLLANDEN UNDER 1985

Som underlag för beskrivningen av väderleksförhållandena har använts SMHI:s månadstidskrift "Väder och Vatten". Under år 1985 har försöken utanför Uppsala och försöket på Finnbo i huvudsak berörts av samma vädersystem. Nedan angivna temperatur- och nederbördsuppgifter för Uppsala är hämtade från klimatstationen på Ultuna. Dessa uppgifter speglar väl förhållandena även på Säbyförsöken. Motsvarande värden för Finnbo kommer från klimatstationen i Sala. Med normal temperatur och nederbörd avses ett medeltal för åren 1931-60.

Året inleddes med mycket sträng kyla, vilken varade under hela januari och februari. Medeltemperaturen i Uppsala (Ultuna) var för januari  $-10.1^{\circ}\text{C}$  mot normalt  $-4.4^{\circ}\text{C}$  och för februari  $-13.0^{\circ}\text{C}$  mot normalt  $-4.3^{\circ}\text{C}$ . På Finnbo (Sala) var medeltemperaturen för januari  $-10.8^{\circ}\text{C}$  mot normalt  $-4.9^{\circ}\text{C}$  och för februari  $-13.2^{\circ}\text{C}$  mot normalt  $-4.5^{\circ}\text{C}$ . Under andra halvan av januari och under hela februari föll också stora mängder snö. Mars månad var temperatur- och nederbördsmässigt normal. Snödjupet reducerades endast obetydligt och var vid månadens slut över 30 cm på samtliga försöksplatser. April var kall och över försöksplatserna passerade många lågtryck. Nederbörden föll både i form av snö och regn. Vid månadens slut var snödjupet 0 cm på alla försöksplatser. Vårbruksmånaden majs första vecka var regnig och kall varför vårbruket försenades ca en vecka. Under de följande två veckorna steg temperaturen till det normala och någon nederbörd av betydelse föll ej. Månaden avslutades därefter med torrt och varmt väder. Det torra och varma vädret fortsatte även en vecka in i juni. Försöksplatserna drabbades således av en tämligen lång period av torka efter vårsådden. Efter den första veckan med sol och värme var junivädret svalt och skurbetonat. Några stora regnmängder föll däremot ej. Uppsala fick under juni 40 mm (normalt = 48 mm) och Finnbo fick 61 mm (normalt = 52 mm). Nederbörd ( $> 2$  mm) föll i juni på Ultuna den 7, 8, 11, 12, 20 och den 28. Nederbörds mängden på respektive dag var, 6.5, 9.7, 5.0, 2.4, 8.9 och 3.3 mm. Motsvarande för Finnbo var den 8, 9, 10, 11, 12, 16, 18 och den 29, med 3.0, 11.0, 7.5, 9.0, 13.5, 3.0, 2.5 och 8.5 mm på respektive dag. Juli som helhet präglades av svalt och ostadigt väder. I Uppsala föll nära 90 mm regn mot normalt 66 mm och på Finnbo ca 75 mm mot normalt 65 mm. Nederbörd ( $> 2$  mm) föll i juli på Ultuna den 4, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 29, 30 och den 31, med 5.9, 7.3, 6.8, 5.7, 14.8, 3.1, 13.9, 11.0, 3.9, 3.9 och 10.6 mm på respektive dag. Motsvarande för Finnbo var den 5, 16, 18, 20, 21, 22, 24, 30 och den 31, med 7.5, 19.5, 2.5, 3.5, 9.0, 3.0, 4.5, 5.5 och 10.0 mm på respektive dag. Under augusti var vädret molnigt och ostadigt. Medeltemperaturen var dock normal liksom även den totala regnmängden. September uppvisade ett temperaturunderskott på ca  $2^{\circ}\text{C}$ , medan nederbörden var normal. Oktober bjöd på mycket solsken och det var också mycket varmt under den första veckan. Månaden blev också mycket torr och med mindre nederbörd än normalt. Årets två sista månader blev liksom de två första kallare än normalt. När december började råde full vinter både i Uppsala och på Finnbo.

Tidigare erfarenheter har visat att skörderesultaten med plöjningsfri odling försämrats i förhållande till konventionell bearbetning om höstbearbetningarna utförts under våta förhållanden (Rydberg, 1980). Det finns därför skäl att i detta sammanhang också nämna att hösten 1984 genomfördes både plöjning och stubbearbetning under mycket våta och besvärliga förhållanden.

## ROTSTUDIER

### METODIK

Metoden som användes vid dessa studier är närmast att betrakta som en modifiering av de metoder som använts av Wiklert (1960) och Gustavsson (pers.meddelande 1985). Studien utfördes vid två tillfällen, dels vid 3-6 bladsstadiet och dels vid fullbordad axgång.

Vinkelrätt mot sårriktningen grävdes i varje led två gropar ned till strax under det maximala rotdjupet. Den bredd som studerades var 25 cm, d.v.s två fulla sårader. I djupled



delades matjorden in i 5 cm-skikt och alven i 10 cm-skikt. Före rotstudien antecknades plantornas höjd och utvecklingsstadium, sådjup, fuktighetsförhållanden i profilen (torrt, svagt fuktigt, fuktigt, mycket fuktigt), eventuellt påträffad grundvattenytas läge och eventuell ogräsförekomst.

För att få en allmän uppfattning om jordens strukturtillstånd fördes noteringar i varje skikt enligt FAO:s Guidelines for Soil Description (odaterad) angående profilens utseende (matjordsdjup, olika horisonter och eventuellt avvikande lager, framför allt i fråga om packningsgrad), aggregatstruktur (form, storlek, stabilitet), sprickbildning (antal, bredd, längd, riktning), maskgångar (antal/dm<sup>2</sup>, diameter) och övriga porer (antal/dm<sup>2</sup>, diameter).

Med en kniv bröts sedan jorden loss efter naturliga brottytor ca 1.5 cm in i såradens längdriktning. Rötterna preparerades fram och räknades i varje skikt. Vid juniräkningen påträffades inga kronrötter under sådjup, och de rötter som var längre än 5 cm antogs samtliga vara frörötter. Vid juliräkningen räknades i varje skikt totalantalet frö- kron- och sidorötter som var längre än 5 cm. Någon åtskillnad mellan de tre rottyperna gjordes ej vid juliräkningen. Ej heller togs någon hänsyn till om de räknade sidorötterna var av primär eller av högre ordning (indelning enligt Haak, 1978).

För att få en tydligare bild av rötternas allmäntillstånd noterades även för varje skikt: Sidorötter, som ej tagits upp enligt ovan (längd i mm, antal/rot-cm, förgreningar, vitalitet och tjocklek). Rothårsutvecklingen (mängd: riklig eller ringa; längd: långa eller korta; eventuella variationer mellan rötter i samma skikt). Rötternas vitalitet (färg, tjocklek). Rötternas framkomlighet (förekomst i sprickor, porer eller maskgångar, förtjockade ändrar och andra tecken på stress).

Resultatet av roträkningen redovisas i form av teckningar, där det stiliserats till ett rot-system i skala 1:7. För att öka tydligheten har rötternas utrymme i breddled gjorts något större, och djupskalan förhåller sig därför till breddskalan som 1:1,3. Plantorna har av utrymmesskäl ritats i skala 1:15.

Antalet frörötter vid juliräkningen antogs vara detsamma på respektive plats och led som vid juniräkningen, och antalet kronrötter antogs vara 4 st, med ett maximalt djup på 10-20 cm (se Wiklert 1960). Reduktionen med djupet av antalet rötter i matjorden vid juliräkningen har i första hand hänförts till kronrötterna, och i andra hand till frörötternas sidorötter. De mer än 5 cm långa sidorötterna har i figurerna ritats 5-10 cm långa.

De korta och tunna sidorötter som har räknats har ritats i skala 1:10. Vidare representerar en sådan ritad sidorot tio verkliga, för att öka tydligheten. Variationer i sidorotsantal per cm mellan olika rötter har noterats. Där förtjockade ändrar och/eller koncentrerad sidorotsbildning har observerats så har detta markerats i teckningen.

Observera att i rapporten redovisas alla rotfigurer nedförminskade till 70 % av originalteckningarna.

## RESULTAT

ULTUNA, 10 JUNI 1985

### Allmänt

Den exakta texturanalysen på den styva leran på Ultunaförsöket redovisas i tab. 1. Vår vetegrödan befann sig vid studietillfället i 4-bladsstadiet i båda leden. Harvningsdjupet, och därmed också såddjupet var något grundare i det plöjningsfria ledet (PF). Någon skillnad i markfuktighet mellan leden noterades ej. I båda leden var markprofilen fuktig upp till en cm under ytan.

### Jordprofilen (0-50 cm)

#### Matjorden (0-35 cm)

I det oplöjda ledet märktes en klar förhårdnad på 8-15 cm nivå, en s.k "harvsula", som endast var obetydligt utvecklad i det plöjda ledet. Vad beträffar "plogsulan" var förhållandet det omvända; denna kunde klart urskiljas på nivån 23-35 cm i det plöjda, men var praktiskt taget obefintlig i det oplöjda. Dessa förhårdnader avspeglas också i de volymviktsskillnader, som tidigare redovisats i tabell 2. Vidare var övergången mellan matjord och alv skarpare i det plöjda ledet, där även en "halmsula" återfanns på 20-22 cm djup.

Ledskillnader konstaterades också vad beträffar aggregatens form, där det i oplöjt led återfanns ett större antal avrundade aggregat. Samma led uppvisade också betydligt fler stabila, framför allt små, sprickor och porer - dock ej i harvsulan. I denna påträffades däremot många gamla fjolårsrötter, som ej förmultnat. I det plöjda ledet var sprickorna större, och främst lokaliserade till gränstorna mellan tiltorna. Förekomsten av maskgångar i matjorden var mycket låg i båda leden, och gav ej underlag för en säker bedömning av eventuella skillnader.

#### Alven (35-50 cm)

Några större ledskillnader konstaterades ej i alven.

### Rotutveckling (se fig. 1)

Den totala rotutvecklingen (summan av de mer än 5 cm långa rötterna i samtliga skikt) var störst i det plöjningsfria ledet, där även det maximala rotdjupet var 5,5 cm större. Däremot hade rötterna i PF tydliga svårigheter att tränga igenom harvsulan. Detta led hade också genomgående utvecklat fler sidorötter. Några ledskillnader ifråga om rothårsutveckling noterades ej, men för båda leden gällde att rothåren var rikligast och vitalast i 5-10 cm skiktet.

I matjorden i den plöjda ledet växte redan ett stort antal rötter längs med halmrester till skillnad från i det oplöjda där många rötter påträffades i permanenta sprickor och porer,

framför allt i harvsulan. Dessa sprick- och porrötter var tjocka, ogrenade, utan synliga rothår och mycket vita. Vid 8-10 cm i PF-ledet uppvisade många rötter koncentrerad sidorotsbildning och förtjockade ändar. I några fall hade en horisontell sidorot övertagit dominansen. På dessa rötter var också mängden rothår mycket stor.

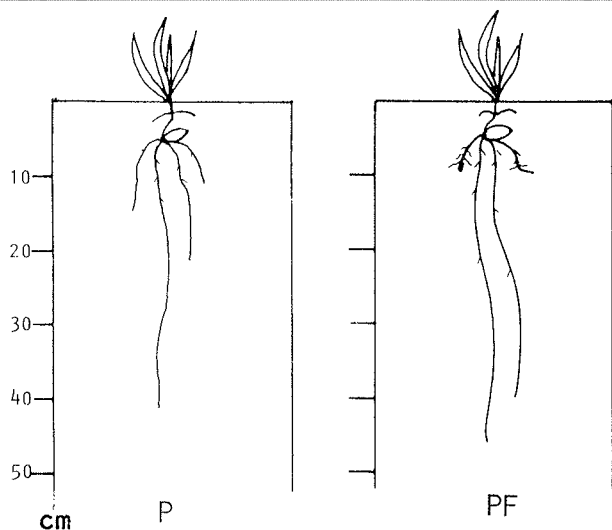


Fig. 1. Rotutveckling på Ultuna, juni 1985. P = Plöjt, PF = Plöjningsfri odling.

*Root development at Ultuna, June 1985. P = conventional tillage, PF = ploughless tillage.*

ULTUNA 16-18 JULI 1985

### Allmänt

Vårvetet hade vid detta andra studietillfälle fullbordat sin axgång, och nått en höjd av c:a 95 cm i det oplöjda ledet och c:a 90 cm i det plöjda. I båda leden var profilen fuktig ner till 10 cm; torr mellan 10-25 cm; svagt fuktig mellan 25-80 cm och fuktig därunder.

### Jordprofilen (0-135 cm)

#### Matjorden (0-35 cm)

Hela matjorden var nu mycket hård i det plöjda ledet, och endast vid 10-15 cm var den mindre kompakt än i det plöjningsfria.

### Alven (35-135 cm)

Inga större ledskillnader kunde heller denna gång iakttagas i alven. I båda leden observerades ett skikt på 50-60 cm djup med mindre stabila aggregat och ett mindre antal sprickor och porer. Därunder övergick alven gradvis till en prismatisk struktur.

### Rotutveckling (se fig. 2)

Exakt lika totalantal rötter observerades i båda led, dock var distributionen ej densamma. De maximala rotdjupen var också nästan identiska i de båda leden utan att ha begränsats av någon grundvattenyta. Den ökade hårdheten i matjorden i det plöjda ledet avspeglades tydligt i en mindre rotutveckling ner till 30-35 cm djup, med en viss ökning av rotantalet i halmsulan på 20-22 cm. Denna lägre rotförekomst i matjorden verkar dock ha kompenseras i underliggande lager. Det oplöjda ledet hade totalt en rikligare rotutveckling i matjorden där det packade lagret - harvsulan - på 10-15 cm djup inte nämnvärt påverkat rotantalet. Här kunde endast en svag minskning jämfört med P iakttagas.

Även antalet korta sidorötter var klart större i matjorden i PF, medan antalet i alven i stort sett var detsamma. Rothårsutvecklingen var för båda leden närmast obefintlig i matjorden vid studietillfället, med undantag av de rötter som i PF växte i sprickor i harvsulan. Under 50 cm var rötterna i båda led, men dock mer accentuerat i det plöjda, rothårsbemängda med rikliga förgreningar och vackert klistrade längs aggregatytorna. I de översta 30 cm fanns inga klart vita rötter, och i plogsulan var rötterna mycket tunna, speciellt i plöjt led, för att därunder i båda led åter bli kraftigare.

I det oplöjda ledets harvsula tog sig många av rötterna ganska väl fram genom befintliga sprickor och porer, men liksom i juni påträffades stoppade rötter med förtjockade ändar och en koncentrerad sidorotsbildning omedelbart ovanför det packade lagret. Detta antyder att rotutvecklingen här skulle ha kunnat vara ännu kraftigare i PF om inte dessa svårigheter vid harvsulan hade funnits.

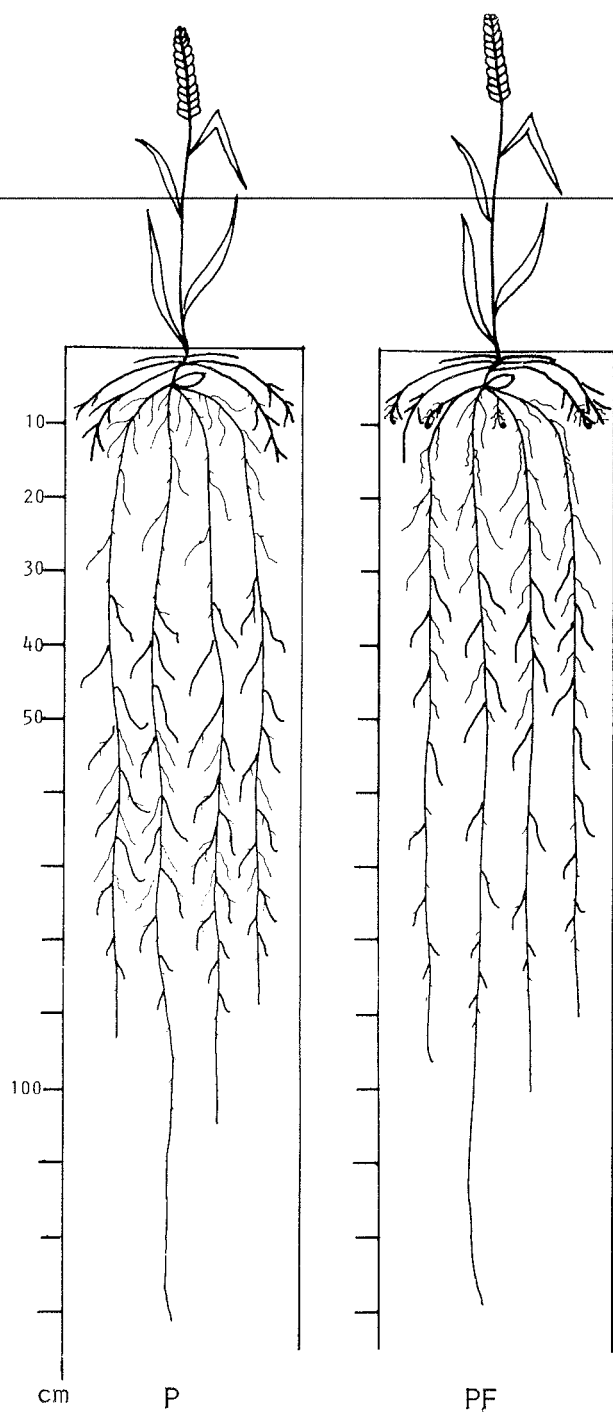


Fig. 2. Rotutveckling på Ultuna, juli 1985.  
*Root development at Ultuna, July 1985.*

### Allmänt

Korngrödan på den styva leran (tab. 1) på Säby I var vid studietillfället i 4-5 bladstadiet. Den var högst i ledet med plöjningsfri harvsådd (PFH), några centimeter lägre i det plöjda ledet (P) och ytterligare några cm kortare i det plöjningsfria (PF). En misslyckad sådd på grund av rikliga skörderestmängder medförde ojämn uppkomst i PF och PFH. Rotstudien genomfördes dock i dessa led på ytor där sadden ej påverkats av problemen vid sadden. Markprofilen var i alla led fuktig upp till 1 cm under ytan. I de ej plöjda leden återfanns fler tistlar än i det plöjda, dock ej vid studieplatserna.

### Jordprofilen 0-70 cm)

#### Matjorden (0-35 cm)

I det plöjningsfria ledet (PF) iaktogs en svagt men tydligt utvecklad harvsula på 10 cm djup. Denna förhårdnad var knappt märkbar i P och PFH. De volymviktsmätningar som utfördes i centrala matjorden visade även de högst värden i PF, medan PFH här intog en mellanställning. Omedelbart ovanför harvsulan påträffades en svag halmkoncentration i de båda oplöjda leden. En måttligt hård plogsula observerades i det plöjda ledet på 25-35 cm djup. Samma förhårdnad återfanns också i de båda övriga leden, fast svagare utvecklad och endast några centimeter i tjocklek. Denna skillnad i hårdhet återspeglades även i resultaten från volymviktsmätningarna. I det plöjda noterades dessutom ett halmlager på 25-28 cm djup, med vid tilläggnings uppkomna halmtussar. Övergången till alv var i det plöjda ledet skarp och distinkt på 35-38 cm djup, medan den i PF och PFH var diffus och omfattade skiktet 32-40 cm.

Aggregaten var porösa och lätt sönderfallande i P och PFH, under det att dessa egenskaper var sämre utvecklade i PF, och då speciellt i harvsulan. På plogsuledjup uppträdde samma strukturförändring i stället i det plöjda ledet.

Det plöjda ledet hade också få, i huvudsak horisontella sprickor, och betydligt färre porer än i övriga led. I de båda oplöjda leden var de rikligt förekommande sprickorna dessutom vertikala, och i den oplöjda harvsådden också genomgående bredare (större än 1 mm). De båda oplöjda leden innehöll även många små porer, men det var endast i den oplöjda harvsådden som rikligt med stora porer kunde konstateras. Den ökade sprick- och porbildningen i de båda oplöjda leden förstärktes av en ökad frekvens maskgångar, och där förekom mer än dubbelt så många som i det plöjda ledet. Dessutom återfanns maskgångarna i de oplöjda ledet högre upp i profilen, t.o.m ända upp i såbädden.

#### Alven (35-70 cm)

Några större ledskillnader konstaterades ej i alven.

### Rotutveckling (se fig. 3)

Den totala rotutvecklingen var klart störst i den plöjningsfria harvsådden (PFH) och ganska lika i P och PF, där endast skillnader i rötternas fördelning på olika skikt observerades. Sålunda uppvisade PF en avsevärd reduktion av rotantalet på harvsuledjup (10-15 cm), som ej kunde iakttas i P, medan PFH här intog en mellanställning. Den sämre rotutvecklingen i det oplöjda kompenserades dock av en snabbare penetration av plogsulan, och därmed fler djupa rötter än i det plöjda. Den bästa djupgående förmågan kunde dock noteras för den plöjningsfria harvsådden, där rötterna trängt mer än 10 cm djupare än i övriga led.

Genomgående hittades många rötter i maskgångar och sprickor, och i det plöjda ledet återfanns följaktligen en stor andel horisontellt växande rötter (ej utritade). I det plöjda fanns enstaka förtjockade ändar på 25 cm djup, men i övrigt observerades inga direkta tecken på försämrade rotframkomlighet i något av leden.

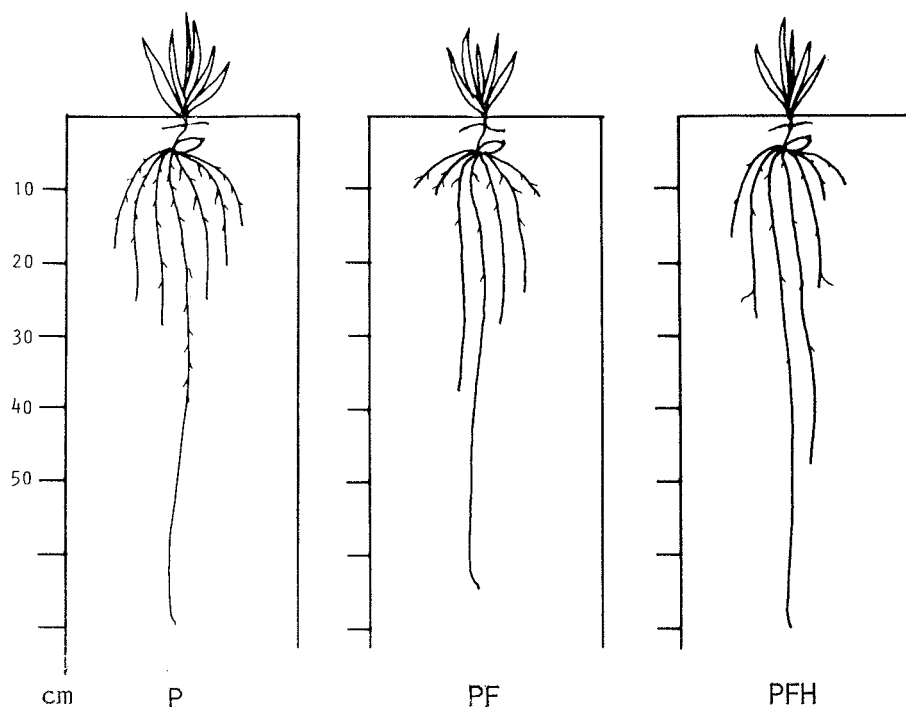


Fig. 3. Rotutveckling på Säby I, juni 1985. P=plöjt, PF=plöjningsfri odling, PFH=plöjningsfri harvsådd.

*Root development at Säby I, June 1985. P=conventional tillage, PF=ploughless tillage, PFH=stubble cultivation and once-over sowing.*

### Allmänt

Kornet hade nu fullbordat sin axgång, och nådde en höjd av 75 cm i PFH och cirka 70 cm i övriga led. Bestockningen var dock något kraftigare i PF än i de övriga leden. Såbädden var fuktig efter regn, 5-25 cm-lagret var torrt och därunder var profilen åter fuktig. Det plöjda ledet var torrare i matjorden än de båda oplöjda leden. En grundvattenyta påträffades på 157 cm i PFH, och på 147 cm i P och PF.

### Jordprofilen (0-155 cm)

#### Matjorden (0-35 cm)

I det plöjda ledet hade nu utvecklats betydligt fler sprickor - såväl vertikala som horisontella - och porernas antal hade ökat. I PFH noterades flera mycket långa, vertikala sprickor, en del genomgående från 10-120 cm djup.

#### Alven (35-155 cm)

Ej heller denna gång kunde några större strukturskillnader observeras i alven, som i alla led gradvis fick ett större gyttjeinslag med djupet och med stora prismatiska aggregat.

### Rotutveckling (se fig. 4)

Störst total rotutveckling noterades nu i det plöjda ledet, helt beroende på en större ökning av antalet rötter i matjorden (rötter som dock var tunnare än i övriga led). Skillnaderna mellan leden var dock ganska små, med den plöjningsfria harvsådden i en mellanställning vad rotantalet beträffar. Även i alven var rötterna något tunnare i P-led. Eventuella skillnader i djupgående mellan leden är svåra att uttala sig om, eftersom det maximala rotdjupet i alla led begränsades av en grundvattenyta. Den plöjningsfria harvsådden uppvisade den genom hela profilen jämnaste rotfördelningen. I det plöjningsfria ledet (PF) iaktogs däremot en svag minskning av rotantalet i harvsulan på 10-15 cm djup. I plöjt led var det emellertid i plogsulan som en minskning av totala rotantalet kunde konstateras. Flera rötter uppvisade en koncentrerad sidorotsbildning omedelbart ovanför plogsulan.

I matjorden i P återfanns också flest sidorötter, med undantag av i plogsulan, där förgreningstendensen var mycket svag. Sidrotsbilden var dock annorlunda i alven, där det tvärtom var de båda oplöjda leden som hade flest sidorötter. För alla led iaktogs vitala rothår endast i alven, och dessa var där kraftigast i de båda oplöjda leden.

I det oplöjda kunde rötterna penetrera harvsulan genom de rikligt förekommande kanalerna. Trots det observerades enstaka förtjockade ändrar tillsammans med en koncentrerad sidorotsbildning omedelbart ovanför denna. I det plöjda där rotframkomligheten begränsades av plogsulan, återfanns rötterna gruppvis i de få existerande sprickorna. I alven påträffades rötterna huvudsakligen i sprickor mellan aggregaten, framför allt på djup överstigande 60 cm och några större ledskillnader kunde härvid inte noteras.



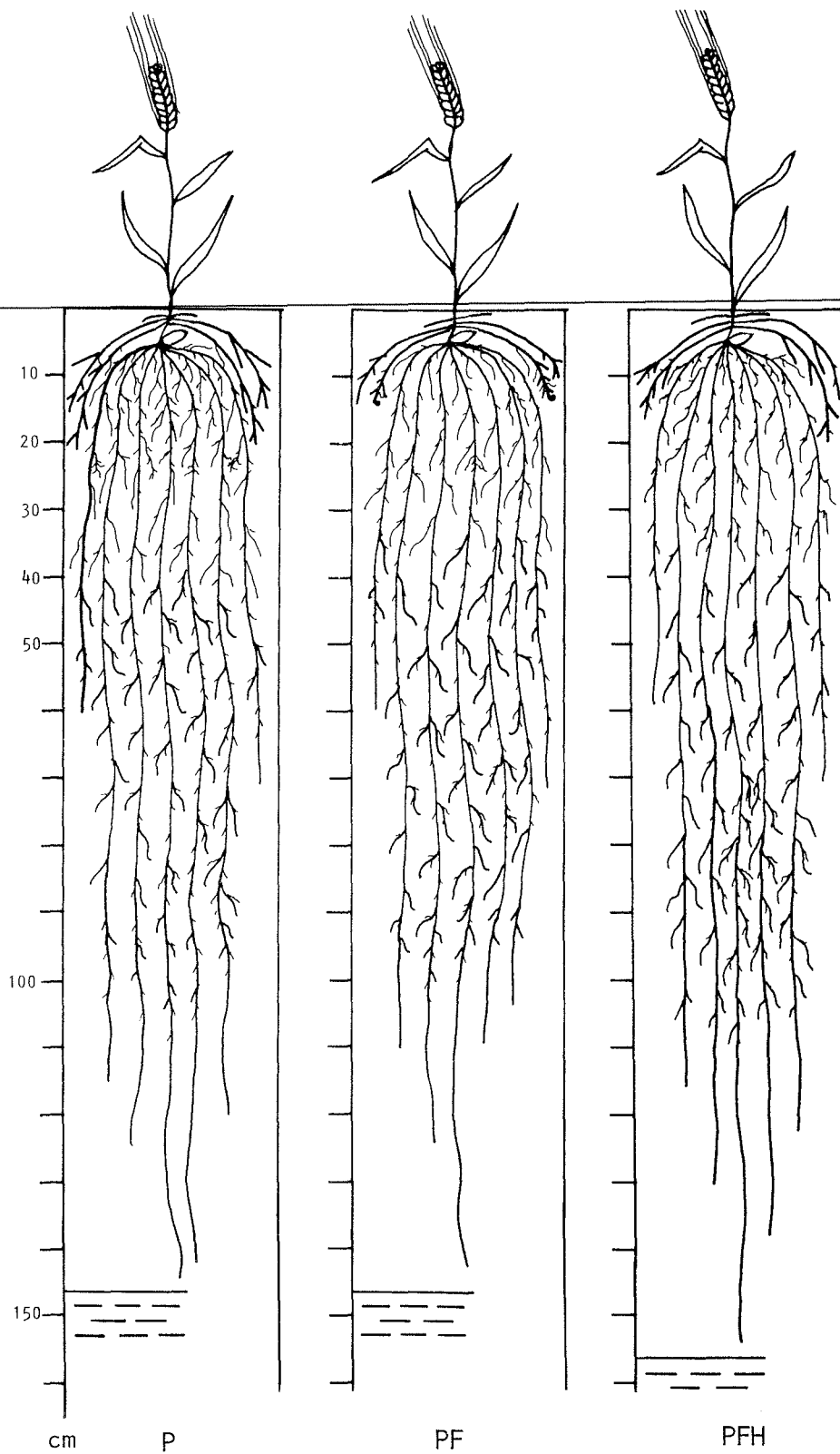


Fig. 4. Rotutveckling på Säby I, juli 1985.  
*Root development at Säby II, July 1985.*

### Allmänt

Korngrödan på den lättbrukade molättleran (tab. 1) på Säby II befann sig vid studietillfället i 5-6 bladsstadiet i det plöjda ledet, men var några centimeter kortare och endast i 4-bladsstadiet i PF och PFH. Dessa utvecklingskillnader var mycket tydliga och kunde iakttagas från 50 meters håll. På grund av regn under dagen var matjorden fuktig ända upp till ytan. I de båda oplöjda leden hittades cirka tre gånger så mycket frögräs som i det plöjda.

### Jordprofilen (0-70 cm)

#### Matjorden (0-35 cm)

I det plöjda ledet var markytan något högre än i de båda oplöjda leden, vilket med lätthet iakttogs med blotta ögat. I PF-ledet var harvsulan tydlig på 8-12 cm djup. Även i den plöjningsfria harvsådden märktes en harvsula, men svagare utvecklad. På harvsuledjup noterades i dessa led dessutom ett centimetertjockt halmlager. Vad beträffar det plöjda ledet var matjorden porösare än i de oplöjda leden, men en tydlig plogsula (som endast svagt märktes i övriga led) hade utvecklats på 28-35 cm djup. Här påträffades också ett halmlager med vid tiltläggningen uppkomna halmtussar. Övergången till alv var mycket skarp i det plöjda, och återfanns på cirka 30 cm djup. I de båda oplöjda leden var denna övergång mindre tydlig, och på ett något mindre djup (cirka 26 cm).

Matjorden hade i alla led ett stort enkelkornsinslag, och aggregaten var löst sammanhållna. Någon större skillnad i aggregatens form eller stabilitet kunde dock inte konstateras. Genomgående förekom endast få sprickor, och de som fanns var smala (mindre än 1 mm) och korta (mindre än 10 cm). I de packade lagren (harvsulan och plogsulan) märktes dock en reduktion av både sprickornas antal och bredd. I harvsulan var denna mest uttalad i PF och i plogsulan i P. I hela matjorden påträffades både flest och störst porer i det plöjda ledet.

Maskgångarna var å andra sidan fler i de båda oplöjda leden, men var överallt ganska smala. Skillnaden i maskgångsfrekvens mellan det plöjda och de oplöjda leden var dock i detta fallet betydligt mindre än vad som var fallet på Säby I.

#### Alven (30-70 cm)

Övre delen av alven (30-45 cm) bestod i alla led av ett skikt med ganska högt sandinnehåll, med ett med djupet gradvis ökande lerinslag. Här återfanns också kanaler med järnutfällningar. Under 45 cm steg lerhalten mycket snabbt, och en klar färgförändring mot blågrått inträdde. Strukturen blev med djupet också allt mer prismatisk. I hela detta skikt under 45 cm förekom rikligt med sprickor och gamla rotkanaler, och järnutfällningar var också här mycket vanliga. Inga ledskillnader kunde konstateras för alven.

### Rotutveckling (se fig. 5)

Den totala rotutvecklingen var rikligast i P och PFH, och dessa båda led hade också ett maximalt rot djup, som med några centimeter överträffade PF. I matjorden var dock det plöjda ensamt överlägset de övriga två leden. Den oplöjda harvsådden hade ett något större antal djupgående rötter. Flest och djupast förekommande sidorötter noterades däremot i det plöjda ledet. Vid en jämförelse av sidorotsutvecklingen mellan de båda oplöjda leden återfanns i PF flest sidorötter på nivån 0-10 cm, medan förekomsten därunder var störst i PFH.

Rothårsutvecklingen var liten i alla led, dock med något mer i matjorden än i alven. Inga ledskillnader konstaterades.

I det plöjningsfria ledet hade många rötter stannat på 8-10 cm djup, dock utan att i övrigt visa några stressymptom.

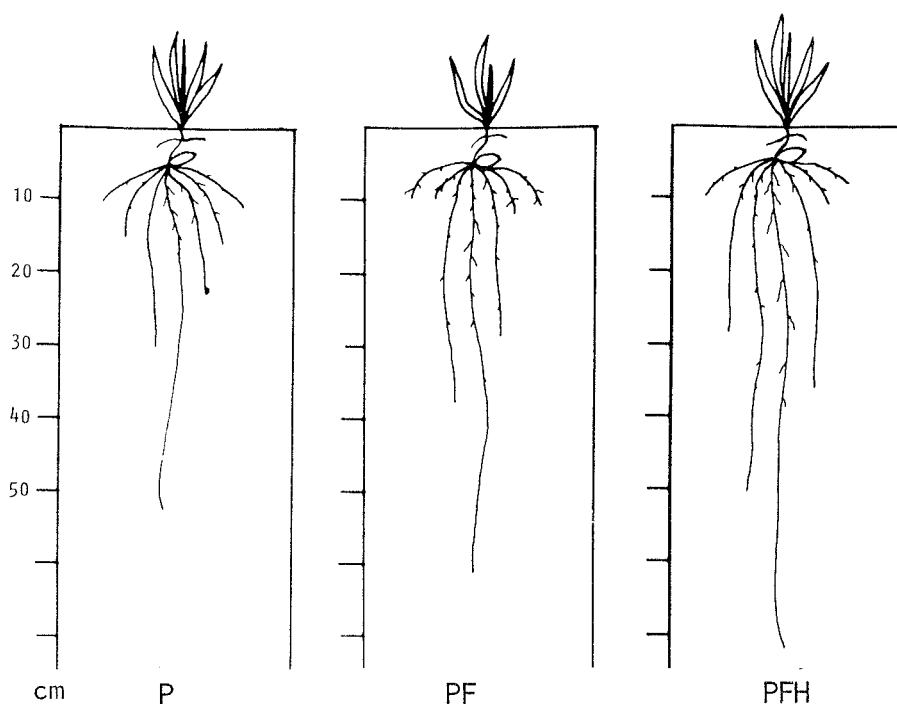


Fig. 5. Rotutveckling på Säby II, juni 1985.

*Root development at Säby II, June 1985.*

SÄBY II, 22-24 JULI 1985

### Allmänt

Kornet hade nu börjat "bocka sig" något i alla led, fast mest i det plöjda. I den oplöjda harvsådden fanns 10-20 % liggsäd, under det att allt stod upp i de övriga leden. Ett regn hade fuktat de övre 10 cm i matjorden, men därunder var jorden torr ner till 55 cm djup. En grundvattenyta påträffades på mellan 120 och 125 cm.

## Jordprofilen (0-120 cm)

### Matjorden (0-30 cm)

I matjorden noterades nu en något mindre aggregatstorlek i det plöjda ledet än i övriga led. Nästan alla aggregat var i P mindre än 3 mm i diameter, medan storlekarna 5-10 mm var dominerande i PF och PFH. En betydligt större sprickbildning, med både fler och bredare sprickor, kunde iakttas i P jämfört med i PF och PFH. I alla led observerades nu rikligt med porer, utan några synbara ledskillnader.

### Alven (30-120 cm)

I samtliga led och utan ledskillnader var förekomsten av sprickor riklig i alven, förutom i skiktet 30-45 cm.

### Rotutveckling (se fig. 6)

Den största totala rotutvecklingen observerades i det plöjda ledet. Denna skillnad berodde helt på det större antalet rötter i matjorden; i alven var utvecklingen t.o.m. något svagare än i övriga led. Svagast var den totala rotutvecklingen i det plöjningsfria ledet. Det maximala rot djupet var dock endast obetydligt mindre i detta led i jämförelse med de övriga.

Rotutvecklingen var i det plöjningsfria ledet speciellt svag på harvsuledjup (9-15 cm). Den oplöjda harvsådden uppvisade här en något högre rotfrekvens, som dock var klart underlägsen den som observerades i det plöjda ledet.

Utvecklingen av de korta sidorötterna visade inte på några större ledskillnader, men de båda oplöjda leden hade en tendens att kompensera den sämre totala rotutvecklingen i matjorden med ett högre antal korta och långa förgreningar i alven.

På nivåerna ner till 45 cm påträffades inga helt vitala rötter, och här var rötterna också i samtliga led tunnare än i djupare lager. Ner till 45 cm saknades i stort sett synliga rothår, men på större djup var rothårsutvecklingen kraftigare; kraftigast i P och svagast i PF.

Rötterna var på denna studieplats mindre beroende av fasta kanaler och maskgångar för sin utveckling än vad som var fallet på Ultuna och Säby I. I det plöjda ledet iakttogs dock ett par förtjockade ändar på plogsuledjup, och många rötter återfanns i det fuktiga halm-skiktet omedelbart ovanför. De rötter i alven, som följt de permanenta kanalerna var i samtliga led friskt tjocka och rikt förgrenade.

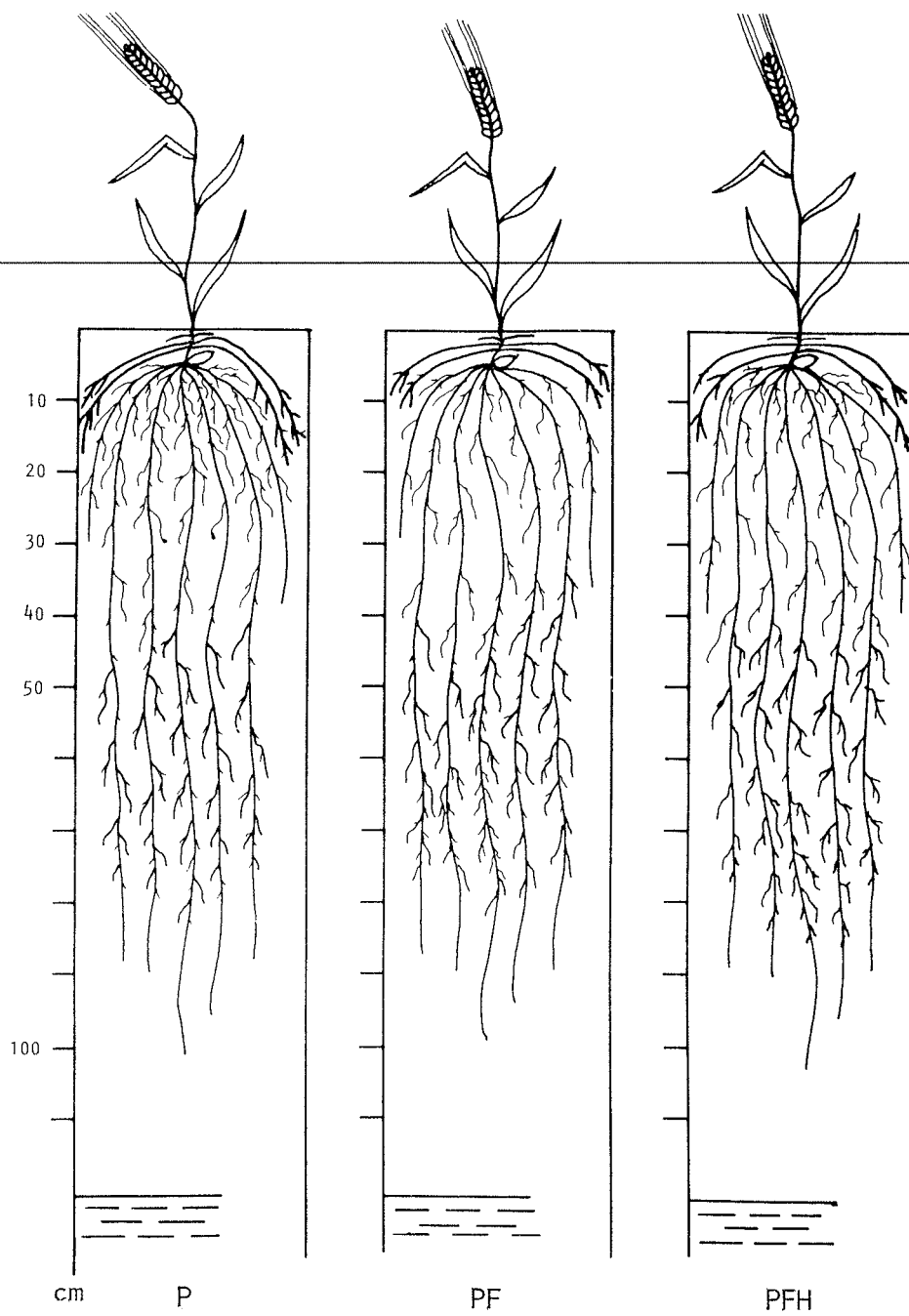


Fig. 6. Rotutveckling på Säby II, juli 1985.  
*Root development at Säby II, July 1985.*

### Allmänt

Det bör påpekas att mjälalättlerans lerfraktion (tab. 1) huvudsakligen utgörs av grovler. Grödan som i det här fallet var havre, hade i båda led - P och PF - uppnått 3- till 3 1/2-bladsstadiet. Sådden hade i PF-ledet utförts utan tekniska problem med skörderesterna men sådjupet var något grundare än i P-ledet (tab. 2). Samtliga jordprofiler var fuktiga ända upp till markytan och med en grundvattenyta på ca 45 cm djup.

### Jordprofilen (0-45 cm)

#### Matjorden (0-26 cm)

En harvsula på 7-12 cm djup märktes mycket tydligt i det oplöjda ledet. Där var även plogsulan tydligt utvecklade på 23-30 cm. Denna plogsula var emellertid betydligt hårdare och mer djupgående i det plöjda ledet. Dessa båda matjordsförhårdningar avspeglas också i resultaten av de volymviktsmätningar som redovisas i tabell 2. Övergången till alv låg i båda leden på 26 cm djup, och var i både P och PF jämn, tydlig och tvär.

Knappt hälften av matjorden förelåg i enkelkornstruktur. Aggregaten var i båda leden av mycket varierande form och storlek och endast löst sammahållna. Sprickförekomsten var större i PF, även om den i båda led var ganska svag. Sprickorna i PF var också längre (längd cirka 10 cm) och bredare än i P. I PF var sprickorna dessutom i huvudsak vertikala, medan de i det plöjda ledet mest var diagonala. Porutvecklingen var bättre i det plöjningsfria ledet, och antalet maskgångar per ytenhet var i stort sett det dubbla.

#### Alven (27-45 cm)

Alvens övre del, som var en del av plogsulan, var hårdare i det plöjda ledet. Överlag noterades få sprickor och porer i detta skikt. Antalet maskgångar var dock fortfarande mer än dubbelt så stort i det oplöjda ledet som i det plöjda.

#### Rotutveckling (se fig. 7)

Det totala rotantalet var något större i det konventionella ledet, där även det maximala rotdjupet var 4 cm större. Överlag hade dock rötterna i båda led, med bara ett undantag per led, inte trängt ner i alven.

En avsevärt rikligare sidorotsbildning observerades i det oplöjda ledet, framför allt i skiktet ovanför harvsulan. På djup över 10 cm var sidorotsutvecklingen mycket svag i det oplöjda, och saknades i det plöjda. Rothår förekom i båda led tämligen rikligt ner till 15 cm djup, och inga ledskillnader konstaterades.

Svårigheterna att penetrera harvsulan var uppenbara i det oplöjda ledet, med flera för-tjockade ändrar och en kraftigt ökad sidorotsbildning i skiktet omedelbart ovanför för-

hårdnaden. I båda led förekom rötter nästan ända upp till markytan (ej markerat i fig. 7), något som inte observerats vid tidigare studier på Ultuna och Säby.

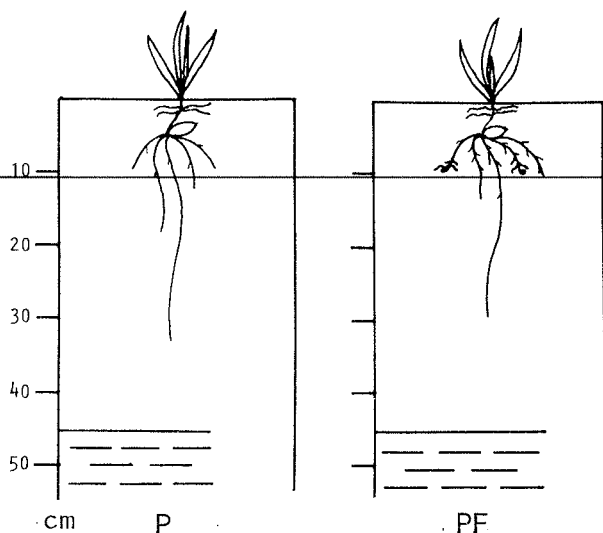


Fig. 7. Rotutveckling på Finnbo, juni 1985.

*Root development at Finnbo, June 1985.*

FINNBÖ, 25 JULI 1985

### Allmänt

Havrens vippgång var nu fullbordad och inga skillnader i planthöjd mellan leden förekom. Ett regn hade fuktat de övre 10 centimetrarna, därunder var det torrt ner till 20 cm, varefter fuktigheten åter steg. Någon grundvattenyta påträffades denna gång inte.

### Jordprofilen (0-70 cm)

#### Matjorden (0-26 cm)

Sprickorna var nu i båda led längre (upp till 20 cm) än i juni, och olikheterna mellan leden vad gäller längd, antal och orientering i vertikalanplanet hade utjämnats.

#### Alven (27-70 cm)

Jämfört med i juni observerades i båda leden fler sprickor i skiktet 26-40 cm. Jordarten under detta skikt var en varvig lera (0.3-1.2 cm/varv), som nästan helt saknade sprickor och porer.

### Rotutveckling (se fig. 8)

Den totala rotutvecklingen var fortfarande något större i P, som framför allt uppvisade en betydligt bättre och jämnare rotutbredning ner till plogsulan på 23 cm djup. Dock hade i PF fler rötter lyckats penetrera plogsulan, och det maximala rotdjupet var därför större i detta led.

Med undantag av i själva harvsulan uppvisade det oplöjda ledet fler korta sidorötter, och gav dessutom ett "buskigare" intryck än vad som var fallet i det plöjda ledet. De få rötter som återfanns under plogsulan i de båda leden var endast sparsamt förgrenade.

Rothårsutvecklingen var mest påtaglig i det plöjda ledet på nivån 10-40 cm. I övrigt noterades inga skillnader i rothårsutveckling. Till skillnad från de övriga studieplatserna kunde ingen skillnad i rottjocklek med djupet konstateras. I matjorden hittades dock många rötter, som gav ett tillplattat intryck.

I hela profilen tog sig rötterna framför allt fram i maskgångar och övriga kanaler. I det oplöjda förekom rötterna under 10 cm djup endast i befintliga kanaler, och gruppvis. Den horisontella rotutbredningen var här obetydlig. Det plöjda ledet uppvisade däremot en något större horisontell rotutbredning i matjorden, men även här återfanns rötterna huvudsakligen gruppvis i sprickor.

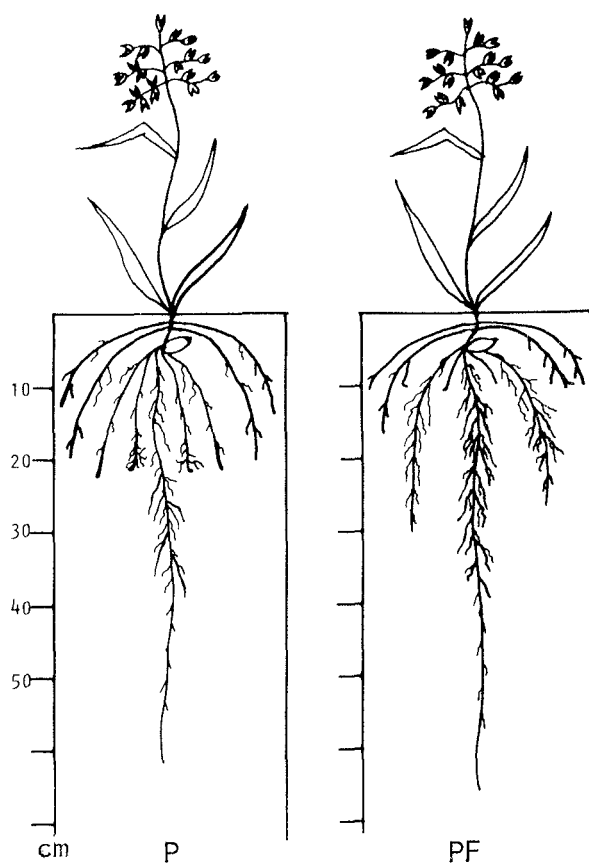


Fig. 8. Rotutveckling på Finnbo, juli 1985.

*Root development at Finnbo, July 1985.*



## DISKUSSION

Rottillväxten påverkas, i ett oerhört komplext och långt ifrån klarlagt samspel, av i stort sett samtliga markfysikaliska (temperatur, syre, vatten, mekaniskt motstånd...), markbiologiska (mikro- och makroorganismer, såväl skadliga som nyttiga...) och markkemiska (näringstillgång, växtnäringens fördelning i profilen, stimulerande eller tillväxthämmande ämnen...) tillväxtfaktorer. Rottillväxten påverkas dessutom av växtslagets egna art- och sorts specifika genetiskt och fysiologiskt betingade egenskaper.

Vid plöjningsfri odling så förändras på olika sätt markstrukturen i förhållande till vid konventionell bearbetning. Denna förändring inverkar i större eller mindre omfattning direkt på de ovan nämnda markfysikaliska faktorerna. Även de biologiska och kemiska faktorerna berörs, fastän då oftast till följd av att de fysikaliska förändrats. Den plöjningsfria odlingen medför även förändringar, vid sidan av de strukturella, som direkt påverkar de biologiska. Enbart det faktum att stora delar av matjorden årligen inte vänds upp och ned bör resultera i en mer lugn och harmonisk miljö för många mikro- och makroorganismer. Av samma anledning påverkas också direkt näringsämnenas fördelning i profilen; vissa anrikas något i ytlagret (Rasmussen & Olsen, 1973; Riley et al., 1985; Rydberg, 1986).

En mycket iögonfallande och i många sammanhang redovisad strukturell förändring vid plöjningsfri odling eller direktsådd är den ökade kompaktheten i centrala matjorden, registrerad i form av högre penetrometermotstånd, högre volymvikt (se tab. 2) eller lägre porositet. Porositetsminskningen sker företrädesvis på de grövre porernas bekostnad (Rasmussen, 1981; Rydberg, 1986), vilka svarar för en stor del av dräneringen, luftväxlingen med atmosfären och för en obehindrad rotframkomlighet.

För en och samma jord gäller således oftast att rotframkomligheten försämras vid ökad volymvikt (Russell, 1977) eller ökad penetrometermotstånd (Russell, 1977; Eriksson, 1982; Ehlers et al., 1983), främst då beroende på att porer större eller lika med den normala rot diametern i första hand reduceras. Rötternas normala rot diameter bestämmer nämligen minimistorleken på den por vilken roten kan penetrera (Wiersum, 1957); rötter kan således ej "göra sig smalare, men väl ovala och tillplattade". Av betydelse för rötternas penetrationsförmåga är dock inte enbart mängden grova porer utan även deras kontinuitet. Vid utebliven plöjning ökar oftast antalet kontinuerliga porer (Barnes & Ellis, 1979; Douglas et al., 1980). Volymviktsmätningar eller penetrometermätningar avspeglar inte denna för rötterna så betydelsefulla egenskap, vilket bl.a Ehlers et al. (1983) mycket informativt visat i försök med havre på en finmo-mjälajord där han korrelerat rotutveckling i både plöjt och oplöjt led mot penetrometermotstånd. Rotutvecklingen avtog naturligt nog i båda led vid ökat penetrometermotstånd men för matjorden gällde att den upphörde vid betydligt högre värde i det oplöjda ledet. Som förklaring framförde de en ökad porkontinuitet. Försiktighet bör således iakttagas vid jämförelse av dylika mätningar från olika bearbetningssystem. Resultaten från rotstudierna på Ultuna, Säby I och II och Finnbo tyder emellertid inte på att en förmodad förbättring av porkontinuiteten har kunnat avhjälpa de negativa effekterna av en ökad kompakthet i centrala matjorden ("harvsulan"). Däremot kan den mycket slående förbättringen av rotframkomligheten på plogsulenivå i oplöjda led på framför allt Ultuna och Säby I och i viss mån också på Finnbo med säkerhet tillskrivas ett ökat antal kontinuerliga och för rötterna framkomliga porer.

Eftersom den ökade kompaktheten har stor inverkan på de fysikaliska tillväxtfaktorerna och för att underlätta tolkningen av de redovisade resultaten, ägnas de närmaste raderna till att diskutera något om hur de fysikaliska faktorerna påverkar rotutvecklingen.

Om rottillväxten ej hämmas av bristande syretillgång eller ogynnsam temperatur så är troligtvis det mekaniska motståndet den markfysikaliska faktor som huvudsakligen kontrollerar rötternas framkomstmöjligheter (Håkansson, 1966; Barley & Greacen, 1967). Storleken på det mekaniska motståndet varierar i hög grad med bl.a jordens textur, struktur, täthet och vattenhalt. Då roten möter ett mekaniskt motstånd avtar dess längdtillväxthastighet genom en i sträckningszonen långsammare celltillväxt tillsammans med en minskad delningshastighet och en ökad radiell tillväxt (Greacen, 1986); roten blir kortare och tjockare. För ärtrötter fann Eavis (1967) en medeldiameter som var nära nog direkt proportionell mot storleken på det mekaniska motståndet. Orsaken till den i vissa fall mycket drastiska förändringen av cellformen är fortfarande inte klarlagd. Möjligen kan en påverkan av ett av roten bildat hormon vara en förklaring. Osborn (1976) har nämligen visat att etylenbehandlade rötter reagerar på ungefär liknande sätt, d.v.s med en reducerad längdtillväxt och en ökad radiell tillväxt.

För många växtslag gäller att då en vertikalt växande frörot plötsligt stoppas av ett kompakt lager, exempelvis en plogsula, så uppstår en stimulans av en horisontell sidorotsbildning som är koncentrerad till skiktet omedelbart ovanför det kompakta lagret (Greacen et al., 1969). En horisontellt växande sidorot kan sedan om möjlighet föreligger, böja av nedåt och därefter överta huvudrotens dominans (Russell, 1977). Denna koncentrerade ökning av sidorotsbildningen får ej förväxlas med en ökad sidorotsbildning och sidorotstillväxt som sker p.g.a god vatten- och näringstillgång och ett rikligt och väl utvecklat por-system. En frörotstillväxt som endast delvis begränsas av mekaniskt motstånd kan resultera i att sidorötterna i gengäld blir något längre och rotbilden kan därav komma att uppvisa ett mera "buskligt" utseende (Finney & Knight, 1973; Russell & Goss, 1974; Ellis et al., 1977).

Rotens tillväxthastighet liksom dess förmåga att övervinna mekaniska hinder är intimt kopplat till jordens vattenhalt. Markvattnet påverkar för det första hela den kompliserade och dynamiska tillväxtprocess som exempelvis omfattar transport av syre, växtnäring och assimilat, och därigenom påverkas också trycket i cellerna i sträckningszonen bakom rotspetsen. Det maximala tryck som en rotspets kan utöva är ungefär av samma storleksordning som det osmotiska trycket inuti cellerna. Vilket också ganska väl motsvarar det maximala vattenavförande tryck som rötterna kan uppbåda för vattenupptagning, d.v.s ca 150 m vattenpelare (1.5 MPa). Då det vattenbindande trycket ökar (minskad vattenhalt) så åtgår allt mer av cellens osmotiska tryck för vattenupptagning och allt mindre tryck för längdtillväxt återstår. För det andra utövar markvattnet direkt inflytande på jordens hållfasthetsegenskaper. Avtagande vattenhalt ökar markskelettets fasthet och rottillväxten sänks p.g.a mekaniskt motstånd.

Det förekommer i litteraturen delvis olika uppfattningar om huruvida en vattenhaltsreduktion i första hand begränsar rotpenetrationen genom vattnets funktion som tillväxtmedium eller genom dess inverkan på jordhållfastheten. Exempelvis så menar Barley et al. (1965) att rotens tillväxthastighet enbart är relaterad till penetrationsmotståndet, medan Bar-Yosef & Lambert (1981) däremot påstår att båda funktionerna är av betydelse. Följande mer nyanserade tolkning av Ehlers et al. (1983) utifrån litteraturen och den tidigare refererade undersökningen med havre beskriver troligtvis verkligheten på ett korrekt sätt, nämligen att: "in the range of available water, soil strength was a principal factor controlling root growth of oats; soil water and not bulk density was of major importance in contributing to the root growth - soil strength relationship; and differences in this relationship between tillage treatments might be caused by a physical factor other than soil water."

Alltför höga vattenhalter kan resultera i nedsatt luftväxling och därav för låga syrekoncentrationer. Det har i laboratorieundersökningar visats att om syreförsörjningen försämraras, så går inte enbart rötternas tillväxthastighet ner utan även deras förmåga att övervinna mekaniskt motstånd. Fritt växande majsrötters tillväxthastighet halveras om syrekoncentrationen sänks från 20 till 5 %. Vid ett mekaniskt motstånd, som vid 20 % syre halverar tillväxthastigheten, medför en sänkning av syrekoncentrationen till 5 % att tillväxten reduceras till 25 % (Gill & Miller, 1956). En växelverkan föreligger således mellan syretillgång och mekaniskt motstånd. Eriksson et al. (1974) återger utifrån data av Eavis (1972) i diagramform, på ett mycket åskådligt sätt, samspelet mellan rottillväxt, mekaniskt motstånd, syretillgång och vattenhalt och Baver et al. (1972) diskuterar det komplexa samspelet mellan genomluftning och vattenhalt i relation till mekaniskt motstånd vid olika volymvikter.

Liksom vid en reduktion av syrekoncentrationen så medför också en temperatursänkning att både rötternas tillväxthastighet och deras förmåga att övervinna mekaniskt motstånd avtar. Temperatureffekten växelverkar också med motsvarande effekter av olika syrekoncentrationer (Greacen, 1986). Vid lägre temperatur förskjuts dessutom tillväxten, relativt skotten, till rötternas fördel (Friend, 1966).

På grund av den långa torrperioden efter sådd av försöken på Ultuna, Säby I och II och Finnbo finns ej skäl att förmoda att rotutvecklingen i plöjt och oplöjt fram till första studietillfället påverkats av för låga eller olika O<sub>2</sub>-koncentrationer. Detsamma kan även antas om perioden mellan de båda studietillfällena. Visserligen var denna period tämligen ostadig, men några större regnmängder per nederbördstillfälle föll ej och försommarens torrperiod hade också åstadkommit ett spricksystem för både effektiv dränering och luftväxling.

Det finns ej heller skäl att förmoda att rotutvecklingen i plöjt och oplöjt nämnvärt påverats av olika temperaturförhållanden. Thunholm (1985) uppmätte i såbotten på Ultuna-försöket en temperatursänkning på endast ca 0.5°C i det oplöjda ledet under perioden från sådd fram till det att grödan började skugga markytan (ca 14 dagar). Vid tiden för den första rotstudien (den 10 juni) noterades ingen temperaturdifferens mellan leden.

På basis av provtagningar strax innan rotstudierna och okulära iakttagelser i samband med dessa, finns heller ingen anledning att förmoda att vattenhaltsskillnader mellan leden skulle ha spelat någon större roll för skillnader i rötternas penetrationsförmåga. Härav kan man dra slutsatsen att den helt dominerade faktorn, som orsakat skillnader i rotbilden har varit det mekaniska motståndet.

Ett ökat mekaniskt motstånd i matjordens centrala del har i de oplöjda leden verkat hämmande på rotutvecklingen på samtliga försöksplatser. Detta svårpenetrerade lager - harvsulan - återfanns som regel på 8-15 cm djup. De rötter som passerat harvsulan verkade å andra sidan i vissa fall ha utvecklats något bättre i oplöjt led i resten av matjorden, och det totala antalet rötter var alltså inte nödvändigtvis störst i det plöjda ledet (se Ultuna). För junistudien gällde generellt att de rötter som penetrerat harvsulan i det oplöjda, därunder hade en bättre tillväxt än vad som var fallet i det plöjda ledet. Detta skulle kunna förklaras av ett kontinuerligare porsystem. Denna förbättrade utveckling under harvsulan har även noterats av Drew och Saker (1980).

Inte oväntat har harvsulans hämmande effekt på rotutvecklingen påverkats av jordarten, men även försökets ålder tycks ha haft betydelse. På Ultuna var den totala rotutvecklingen i matjorden rikligast i det plöjningsfria ledet, trots att tydliga tecken på svårframkomlighet noterades på ca 10 cm djup. På Säby I, med liknande jordart, var rotbilden den omvända, med en kraftigare matjordsutveckling i det plöjda ledet. På Ultuna har en ostörd strukturutveckling kunnat pågå i 10 år, mot endast 3 år på Säby I, vilket således kan med-

föra större kompensationsmöjligheter av de negativa packningseffekterna. Liknande iakttagelser om vikten av försökets längd stöds av bl.a Ellis (1977) där man fann att en försämrade rottillväxt i direktsått korn, jämfört med konventionellt odlad, avtog vartefter försöken fortskred.

På lättare jordar där möjligheterna att utveckla fasta kanaler är mindre (typ Säby II och Finnbo), och denna möjlighet att kompensera för ökad volymvikt därmed delvis försvinner, uppvisade resultaten följaktligen en större försämring av rotutvecklingen i de oplöjda leden. Speciellt på Finnbo, där rötterna var mycket beroende av de få kanaler som fanns, var skillnaden markant, och en avsevärt jämnare utbredning kunde här konstateras i det plöjda ledets luckrare matjord.

På de två provplatser där harvsådd förekommit tyder resultaten på att en förbättring har kunnat åstadkommas genom att använda denna metod. Den därvid uppkomna förbättringen i rotmiljö avspeglades också i skördestegringar. Trots de problem vid sådden som tidigare omtalats, var förhållandena i de båda oplöjda leden så pass likvärda att en försiktig jämförelse kan göras. Således noterades under 1985 på den styva leran på Säby I 12 % högre skörd i den "plöjningsfria harvsådden" jämfört med det vanliga "plöjningsfria" ledet. På Säby II:s molättlera inskränkte sig ökningen till 4 %.

I matjordens undre del har framför allt plogsulan spelat en avgörande roll för rötternas utveckling, förgrening och förmåga att snabbt tränga djupare. Det var i samtliga försök tydligt att rötterna i alla avseenden utvecklats sämre på plogsuledjup i det plöjda ledet, även om en koncentrerad sidorotsbildning och förtjockade ändar endast återfanns på Säby I och Finnbo. Uppluckringen av plogsulan, som kan förväntas vid utebliven plöjning resulterade i dessa led i ett ökat rotantal jämfört med det plöjda ledet. Denna skillnad kunde iakttagas redan vid junistudierna, och tydligast på Ultunas och Säby I:s styva leror. På Säby II var ledskillnaden mindre markant, men speciellt den oplöjda harvsådden visade upp en klar förbättring, medan Finnbo i juni inte uppvisade några skillnader i förmåga att penetrera plogsulan. Det är av stort intresse att den förbättrade rotframkomligheten i skiktet 10-15 cm för den plöjningsfria harvsådden jämfört med det plöjningsfria ledet även medfört en snabbare och bättre penetration av plogsulan, som ju i detta fall borde vara identiskt mellan leden. Samma skillnad kvarstod även under julistudien.

Liksom för harvsulan tycks den förbättrade rotframkomligheten i plogsulan vara avhängig försökets ålder. Följaktligen påträffades de största ledskillnaderna på Ultuna, där det på plogsuledjup i det plöjningsfria ledet ej märktes någon reducerad rotutveckling, och där sidorotsutvecklingen ej hade störts nämnvärt. Finnbo intog här en specialställning med sitt mycket begränsade spricksystem i alven, men även här noterades en ökad tendens att penetrera plogsulan i det oplöjda. Av speciellt intresse är, jämfört med i det oplöjda, den goda utvecklingen i det plöjda ledet ner till plogsuledjup, där många rötter stannat upp och uppvisade morfologiska tecken på svårframkomlighet. Med en liknande "stark" matjordsutveckling i det plöjningsfria torde skillnaden i antalet djupgående rötter ha accentuerats ytterligare. Man kan därför anta att den packningsvänligare harvsådden i kombination med en plogsuleluckrande plöjningsfri odling skulle kunna ha en stor positiv effekt på rotutvecklingen på denna jordtyp.

De skillnader i rotantal och förgreningar i matjorden, som kommenterats ovan, verkar till en viss del ha utjämnats genom olika utveckling i alven. På Ultuna var rotantalet och förgreningarna så mycket kraftigare i alven (djupare del, se sid.9) i det plöjda ledet att det totala rotantalet i hela profilen blev identiskt mellan leden. Även på de båda Säbyjordarna fanns tendenser till att en sämre matjordsutveckling kompenseras med ett ökat antal förgreningar i alven. Samma kompensationsförmåga har noterats av bl.a Bakermans och De Wit (1970). Det är dock viktigt att komma ihåg att endast på Ultuna har en sämre matjordsutveckling kunna uppvägas helt av ett ökat rotantal i alven. Därmed inte sagt att en senare kompensation i rotutvecklingen uppväger effekterna av den initiala hämningen.

De anteckningar om rothårsutvecklingen som förts har inte gett vid handen några systematiska skillnader. Rothårens utveckling som respons på gynnsamma eller ogynnsamma betingelser är mer oklar (Haak 1978), och det skulle därför behövas ingående studier för att dra några slutsatser om detta.

Resultaten från rotstudierna visar klart att en ökad packning har haft en negativ inverkan på rötternas utveckling i både harv- och plogsulan. Vid plöjningsfri odling kan de naturliga markprocesserna med tiden avsevärt minska betydelsen av plogsulan. Problemet blir då istället den försvårade framkomligheten i harvsulan. Men med tiden utvecklas även här permanenta kanaler som minskar de negativa effekterna, fast det utan tvekan är nödvändigt att dessutom vidta kraftiga åtgärder för att reducera packningen. Den gynnsamma effekt som en minskad packning medför framgår med all tydlighet i de resultat som uppnåtts med plöjningsfri harvsådd.

Trots den förbättrade rotframkomligheten i den plöjningsfria harvsådden var denna fortfarande sämre än i det plöjda ledet. Detta visar att en strävan att ytterligare minska packningen, med t.ex lättare ekipage, lågprofildäck m.m även vid plöjningsfri harvsådd vore önskvärd. En annan intressant möjlighet vore att prova "penetrationsgrödor" (Elkins et al., 1977; McClintic, 1981; Elkins, 1985), som skulle kunna luckra såväl harvsula som eventuellt kvarvarande plogsula. Men innan dessa kan användas krävs ett utvecklingsarbete för att anpassa dessa till svenska förhållanden.

## EVAPORATIONSSTUDIER

### METODIK

Med evaporation avses avdunstning direkt från markytan. Evaporationen mättes på utborrade jordcylindrar (höjd ca 35 cm, diam = 30 cm). Vid borrningarna, som utfördes 1-2 dagar efter vårbruket, överfördes jordcylindrarna successivt i PVC-cylindrar (höjd = 40 cm, diam = 30 cm), fig. 9. Varje PVC-cylinder försågs omedelbart efter borrningen med omslutande lock i båda ändar för att förhindra avdunstning fram till dess att mätningarna startade efterföljande morgon. Som mått på evaporationshastigheten användes lysimetrarnas viktminskning/dygn. Bottenlocket som var fastskruvat behölls hela tiden på för att hindra jordcylindern från att falla ur PVC-cylindern i samband med vägningen. Det bör också påpekas att den naturliga lagringen ej stördes vid utborrningen.

Borrningarna har som tidigare nämnts utförts i det plöjda (P) och i det plöjningsfria (PF) ledet på försöken på Ultuna, Säby I och Finnbo. Antalet paralleller per försök var sex st på Ultuna och Säby I. På Finnbo borrades p.g.a olyckliga omständigheter nio cylindrar ut från det plöjda ledet mot endast tre från det oplöjda. I anslutning till varje borrhål togs 0.25 m<sup>2</sup> såbädd för bestämning av volymvikt, sådjup och aggregatstorleksfördelning. I anslutning till varje borrhål togs också jordprov för bestämning av vattenhalten i såbädden (nivå I) och i tre på varandra följande 10-centimeters nivåer (nivå II-IV) från harvbotten och nedåt. I nivå II-IV användes stålcyllindrar (höjd = 100 mm, diam = 70 mm) för att även kunna beräkna volymvikten. Såbäddsdjup, vattenhalter och volymvikter från dessa provtagningar redovisas i tabell 2.

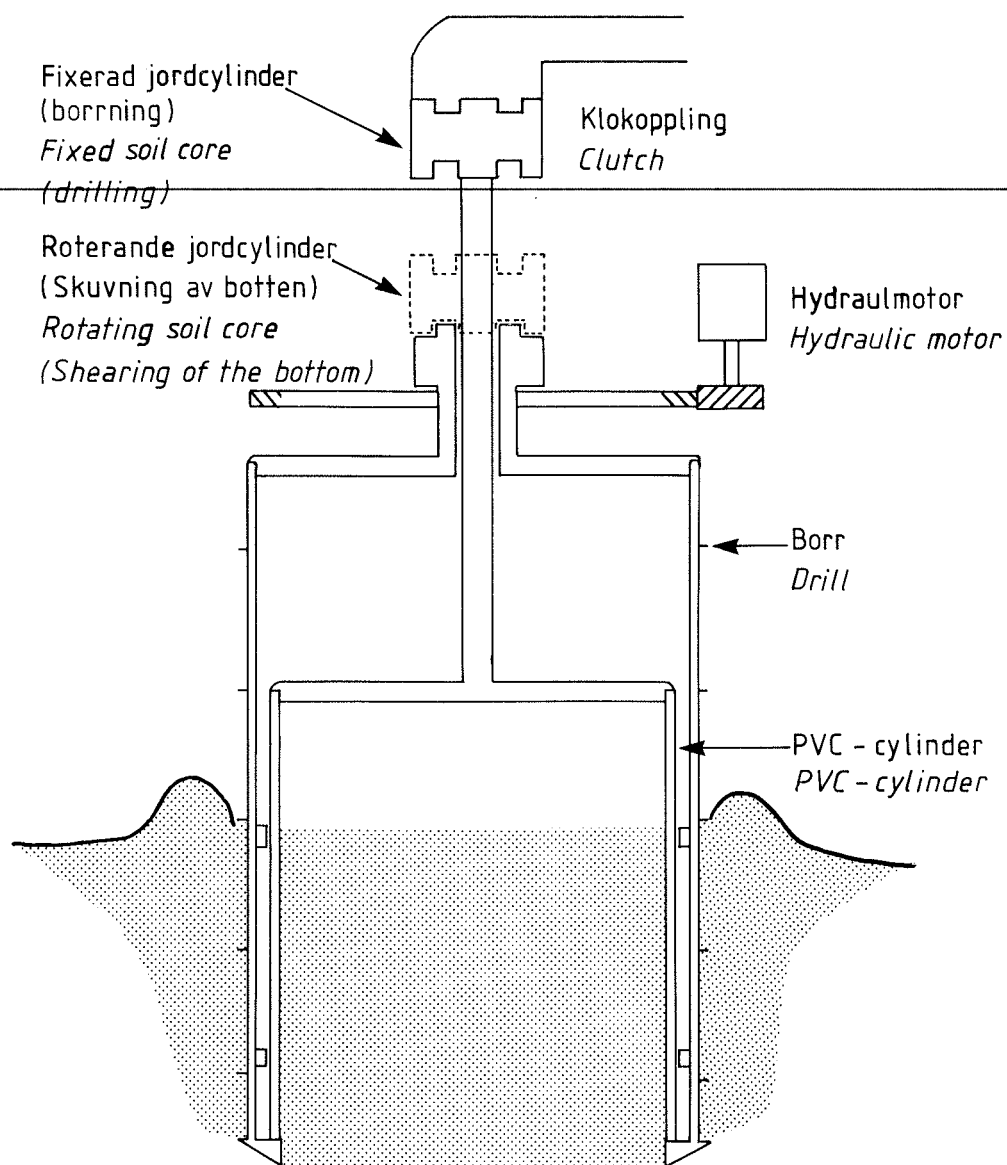


Fig. 9. Skiss av borren som användes vid uttagningen av lysimetrarna. Konstruktör Lave Persson, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

*Sketch of the drill used to extract lysimeters in the field. Designer Lave Persson, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.*

Tabell 2. Uppgifter om såbäddsdjup samt vattenhalt i viktsprocent och volymvikt, g/cm<sup>3</sup>, i såbädden och i tre 10-centimeters nivåer därunder  
*Depth of seedbed and water content (% w/w) and bulk density (g/cm<sup>3</sup>) of the seedbed and of three 10-cm levels underneath.*  
*P=conventional tillage, PF=ploughless tillage*

Lager <i>Layer</i>	Ultuna			Säby I			Finnbo		
	P	PF	sign. 1)	P	PF	sign.	P	PF	sign.
<u>Såbädd, nivå 1.</u> <i>Seedbed, level 1.</i>									
Djup, cm: <i>Depth</i>	3.8	3.4	*	4.7	4.3	**	4.2	3.8	
Vattenhalt: <i>Water content</i>	10.6	9.1		12.6	13.2		15.5	17.5	
Volymvikt: <i>Bulk density</i>	0.95	0.84	***	0.94	0.73	***	1.00	0.89	**
<u>Nivå 2.</u>									
Vattenhalt:	27.9	27.4		30.4	30.3		28.4	26.8	
Volymvikt:	1.33	1.39		1.22	1.30	*	1.38	1.42	
<u>Nivå 3.</u>									
Vattenhalt:	32.0	26.2	***	34.6	30.4	**	28.8	28.0	
Volymvikt:	1.36	1.51	**	1.28	1.33		1.37	1.38	
<u>Nivå 4.</u>									
Vattenhalt:	26.3	27.9		31.8	30.6		25.5	26.4	
Volymvikt:	1.52	1.45	o	1.37	1.35		1.48	1.48	

1) Signifikansnivåer (*Significance levels*): o)  $0.1 \geq P > 0.05$ ; \*)  $0.05 \geq P > 0.01$ ; \*\*)  $0.01 \geq P > 0.001$ ; \*\*\*)  $P \leq 0.001$ .

Evaporationsstudierna omfattar fyra st delundersökningar, vilka i fortsättningen benämns serie I-IV. Arbetet har till största delen genomförts i växthallen vid Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Ultuna. Växthallen är försedd med ett genomskinligt plasttak på ca 6 meters höjd och väggarna består av ett finmaskigt nät av ståltråd.

De olika serierna omfattar följande:

Serie I. En registrering (vägning) av evaporationsförloppet på samtliga lysimetrar under 20 dagar efter utbörningen.

~~Serie II. En registrering av evaporationsförloppet efter bevattning av de i serie I ingående lysimetrarna. Serien genomfördes under tiden 16/7 - 12/8 1985.~~

Serie III. Studier av skörderesternas effekt på evaporationen. Lysimetrarna från Ultuna och Finnbo ingick i serien. Först bevattades lysimetrarna på harvbotten. Där efter påfördes, till ett djup av 4 cm, lufttorrt "plöjd" såbädd från Ultuna och Finnbo på respektive lysimeter. I halva antalet lysimetrar per försöksplats, d.v.s sex st, blandades sedan såbäddarna med hackade oförmultnade och torkade kornskörderester motsvarande en mängd på 5000 kg/ha (=29 g/lysimeter). Efter detta bevattades tre lysimetrar med skörderester och tre utan från respektive försöksplats. Serien omfattade således två försöksplatser och följande fyra led:

A<sub>1</sub> = Bevattnad såbädd utan skörderester

A<sub>2</sub> = Bevattnat såbädd med skörderester

B<sub>1</sub> = Torr såbädd utan skörderester

B<sub>2</sub> = Torr såbädd med skörderester

"Lysimeterbottnarna", d.v.s lysimeterinnehållet exklusive såbädd, fördelades så att minsta möjliga systematiska fel skulle förelgga mellan å ena sidan A<sub>1</sub> och A<sub>2</sub> och andra sidan mellan B<sub>1</sub> och B<sub>2</sub>. Serien genomfördes under tiden 9/9 - 30/9 1985.

Serie IV. En registrering av evaporationsförloppet exkl såbädd. Serie IV genomfördes i laboratorium under november-december 1985 och i början av januari 1986. Vid mätningar användes samtliga lysimetrar från Ultuna, 4 st "plöjda" och 5 st "oplöjda" från Säby I och 3 st av vardera från Finnbo. Evaporationsförloppet exkl såbädd studerades även i växthallen under tiden 16/8 - 9/9 1985. Arbetet upprepades inomhus för att eliminera osäkerheten i effekten av stark vindpåverkan. I rapporten redovisas i huvudsak resultaten från laboratorieundersökningen.

Vid bevattningen, som utfördes i växthallen, användes en fram- och återgående bevattningsramp med "full-jet" spridare (1/8 GGSS, pat no 3104829). Rampens höjd över markytan var 100 cm och rampens hastighet var 0.25 m/sek. Ledningstrycket var 4.5 kp/cm<sup>2</sup>. Vid varje passage bevattades med 0.5 mm.

Inför serie II bevattades den 17 juli lysimetrarna från Ultuna och Säby I med 25 mm medan de från Finnbo erhöll 30 mm. Tre dagar senare fick samtliga ytterligare 15 mm.

Inför serie III erhöll den 9 september led A<sub>1</sub> och A<sub>2</sub> 20(5+5+5+5) mm och led B<sub>1</sub> och B<sub>2</sub> 25(5+5+5+5+5) mm på harvbotten. Efter påförd torr såbädd bevattades led A<sub>1</sub> och A<sub>2</sub> med ytterligare 15(10+5) mm.



Inför serie IV hade lysimeterbottnarna från Ultuna och Säby I under tiden 1/10 - 4/11 vid fyra tillfällen erhållit ca 5 mm. Målsättningen var att uppnå homogena fuktighetsförhållanden. Lysimetrarna från Finnbo hade med samma förutsatts under tiden 1/11 - 10/11 bevattnats med totalt 20 mm, fördelat på sex bevattningstillfällen.

Vid bevattning utan såbädd täcktes harvbotten med en uppfuktad handduk för att förhindra igenslamning.

Den upptagna mängden vatten per lysimeter och bevattningstillfälle har i vissa fall avvikit från den beräknade (0.5 mm/passage). De två främsta orsakerna till detta var en ojämn spridningsbild p.g.a vindpåverkan och en förlust av vatten genom det ej vattentäta bottenlocket. Avvikelsen/lysimeter p.g.a vindpåverkan översteg sällan 0.5 mm per tillförda 10 mm. Förlust av vatten som dränerade ner genom eller vid sidan av jordcylindern och ut genom bottenlocket inträffade i första hand vid bevattning av lysimetrarna från Finnbo och vid stora engångsgivor, >15 mm, till lysimetrarna från Ultuna och Säby I. Av tidigare angivna bevattningsmängder är de till serie II och alla delmängder de beräknade. Övriga angivna totalmängder är således = mängden upptaget vatten. Vid dessa bevattningar har efter sista delbevattningen korrektion för eventuell avvikelse från beräknad mängd utförts. De totala genomsnittliga upptagbara mängderna vid bevattning inför serie II var för Ultuna (P) = 37 mm och för Ultuna (PF) = 38 mm. Motsvarande för Säby I var 38 respektive 39 mm och för Finnbo 41 resp. 34 mm.

Utifrån vattenhalterna i volymsprocent i såbädden och i de tre nivåerna därunder och med kännedom om sådjup och om höjden på fasta jordmaterialet i lysimetrarna beräknades lysimetrarnas vatteninnehåll i mm vid utborrningstillfället. Innehållet kan också anses vara detsamma vid start av serie I då lysimetrarna varit täckta från utborrningen och fram till evaporationsmätningarnas start.

Den genomsnittliga höjden på det fasta jordmaterialet var i lysimetrarna från Ultuna (P) = 28 cm, Ultuna (PF) = 28,5 cm, Säby I (P) = 27 cm, Säby I (PF) = 27 cm, Finnbo (P) = 30 cm och Finnbo (PF) = 30 cm. Vid beräkningarna av totala vatteninnehållet vid utborrningstillfället har vattenhalten i bottennivån approximerats med vattenhalten i nivå 4.

I tabell 3 har en sammanställning gjorts, försöks- och ledvis, av de genomsnittliga mängderna vatten i mm i lysimetrarna vid början av de olika serierna. Mängderna i serie II-IV är framräknade genom subtraktion och addition av avdunstade och eller bortförda resp tillförda mängder.

Den potentiella evaporationen ( $E_p$ ) uppmättes i växthallen och i laboratoriet med Anderssons evaporimeter (Andersson, 1969; Johansson, 1969). Mätaren var placerad på 1.5 meters höjd över markytan och avlästes dagligen vid varje vägningstillfälle av lysimetrarna.

Enligt Linnér (1984) var  $E_p$ , i växthallen under åren 1971-73, 14-17 % lägre än vid den meteorologiska stationen på Ultuna.

Den potentiella evaporationen i laboratoriet vid serie IV var 0.8-0.9 mm/dygn. Variationen orsakades dels av att inomhustemperaturen varierade och dels av att relativa fuktigheten i ventilationssystemet varierade. I samband med resultatredovisningen har medelvärdet 0.85 mm/dygn använts.

I fig. 10 illustreras några av arbetsmomenten vid evaporationsstudierna.

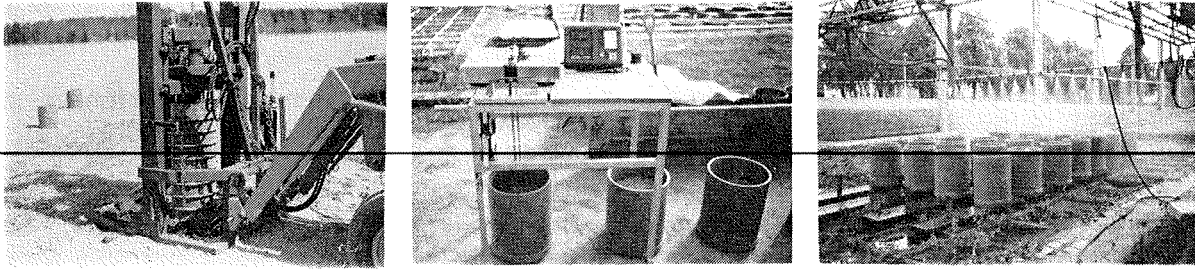
Tabell 3. Uppgifter om mängd vatten i lysimetrarna vid evaporationsmätningarnas start vid serie I-IV

*Water content of lysimeters at the start of the four experimental periods (Series I-IV). P = conventional tillage, PF = ploughless tillage*

Försök Site	Mängd vatten Water content (mm)						
	Serie I	Serie II	Serie III				Serie IV
			A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	
<u>Ultuna</u>	(sd)						
P:	115 (6.2)	108 (5.7)	110 (2.8)	112 (4.9)	-	-	94 (4.3)
PF:	115 (4.8)	112 (5.2)	-	-	111 (3.9)	110 (6.7)	100 (6.4)
<u>Säby I</u>							
P:	118 (5.4)	122 (4.4)	-	-	-	-	108 (5.2)
PF:	114 (4.4)	122 (4.2)	-	-	-	-	105 (6.2)
<u>Finnbo</u>							
P:	123 (6.2)	118 (3.5)	119 (4.7)	115 (3.0)	106 <sup>1)</sup> <sub>(6.3)</sub>	-	108 (0.8)
PF:	121 (2.4)	111 (3.6)	-	-	-	104 <sup>2)</sup> <sub>(0.5)</sub>	107 (4.1)

1) Egentligen 2 st från det plöjda ledet och 1 st från det oplöjda.

2) Egentligen 2 st från det oplöjda ledet och 1 st från det plöjda.



a)

b)

c)

Fig. 10. Illustration av några arbetsmoment med lysimetrarna vid evaporationsstudierna. a=borrning, b=vägning, c=bevattning.

*Illustration of some of the operations on lysimeters carried out in connection with the evaporation studies.  
a = drilling, b = weighing, c = irrigation.*

## RESULTAT

Evaporationsförloppet efter nederbörd brukar delas in i tre på varandra följande steg. För att underlätta den fortsatta redovisningen följer här en kort karakterisering av de tre stegen.

Faktaunderlaget har hämtats från arbeten av Hide (1954), Lemon (1956), Richards et al. (1956), Philip (1957), Ioffe & Revut (1966), Hillel & Hadas (1972), Idso et al. (1974), Hadas (1975), Hillel (1980), Unger & McCalla (1980) och Heinonen (1985).

Under det första steget sker en mycket snabb förlust av vatten till atmosfären. Uppttransporten av vatten till markytan är i huvudsak kapillär och hela tiden tillräcklig för att tillgodose den potentiella evaporationen. Evaporationshastigheten styrs således av klimatiska faktorer såsom vindhastighet, temperatur, relativ fuktighet och strålningsenergi. Ångbildningen sker på markytan och motståndet för ångtransport från markytan till atmosfären utgörs av ett mycket tunt icke turbulent luftlager intill markytan, genom vilket ångan transporteras medelst molekylär diffusion. En ökad vindhastighet reducerar luftlagrets tjocklek samtidigt som borttransporten av mängden vattenånga ökar. Varaktigheten av det första steget har p.g.a den höga evaporationshastigheten stor inverkan på den totala mängden avdunstat vatten.

Allteftersom upptorkningen fortgår bildas en ny "diffusionsbarriär" av den torra markytan och då den aktuella evaporationen ( $E_a$ ) understiger den potentiella ( $E_p$ ) övergår steg ett i steg två. Vattenhalten i nivån 0-10 cm är i allmänhet vid övergången ca 90-95 % av den vid fältkapaciteten. Vid låga  $E_p$ -värden och på jordar med hög omättad konduktivitet kan emellertid evaporationen fortgå i steg ett ända ned till vattenhalter som motsvaras av ca 60-70 % av den vid fältkapacitet. Steg två kännetecknas av en hela tiden avtagande evaporationshastighet. Under steg två utövar profilens egen förmåga att leverera och transportera vatten större inverkan på evaporationshastigheten än de klimatiska faktorerna. Ångbildningen sker huvudsakligen ett par cm under markytan och den hastighet med vilken vattenångan transporteras genom "diffusionsbarriären" (diffusion och/eller masstransport i turbulenta luftströmmar) får en allt större inverkan på evaporationshastigheten. I lagren under det torra ytskiktet dominerar den kapillära vattentransporten men andelen som transporteras i ångfas ökar hela tiden. Ångtransport överskuggar kapillär transport då vattenhalten understiger den vid vissningsgränsen.

I och med att vattnet i profilen under steg två i allt större omfattning transporteras i form av ånga ökar också temperaturfluktuationernas inverkan på evaporationsförloppet. Sammanfattningsvis kan sägas att de mekanismer som styr vatten- och ångtransporten under steg två är både varierande och komplexa.

När det tredje steget börjar är evaporationshastigheten mycket låg och tämligen konstant. Evaporationshastigheten styrs främst av de adsorbtiva krafter som binder vattenmolekylerna vid partikelytorna i ytskiktet och av hur lång väg vattenångan har att diffundera från fuktigare lager. Någon entydig gräns mellan steg två och tre föreligger ej. Det föreligger ej heller någon praktisk mening med att försöka identifiera någon sådan. Förslag finns emellertid på att övergången skall anses ske vid en vattenhalt i ytskiktet som råder då vattenfilmen kring jordpartiklarna har en tjocklek av 2 molekyllager eller ca 6 Å (Idso et al., 1974). Vid vissningsgränsen är filmtjockleken ca 18 Å.

För att undanröja eventuella missförstånd om de klimatiska faktorernas betydelse för evaporationen bör också påpekas, även om det kan tyckas som en självklarhet, att effekten av dessa givetvis under samtliga steg är beroende av såbäddens beskaffenhet. Om exempelvis vindhastigheten ökar så ökar också turbulensen i takt med att andelen grova aggregat i

såbädden ökar. En ökad turbulens medför en effektivare borttransport av vattenånga samt en förbättrad värmetransport, vilket ökar evaporationshastigheten. Såbäddens beskaffenhet utövar även inflytande på mängden strålningsenergi som upptas av markytan och därav också på mängden bildad vattenånga. Under ej alltför låg vindhastighet är evaporationshastigheten under steg ett oftast högre från en ojämn bar markyta än motsvarande från en fri vattenyta p.g.a i första hand en större turbulens men även p.g.a en större mängd adsorberad strålningsenergi.

### Serie I

Vid start av serie I var vattenhalten i såbädden genomgående mycket lägre än vid fältkapaciteten; på Ultuna och Säby I ca 30 % och på Finnbo ca 50 % av den vid 1 meters avsugning. Evaporationshastigheten var på samtliga försöksplatser redan under de första dyggen oftast under 1 mm/dygn och tämligen konstant. Några signifikanta ledskillnader noterades ej vid mätperiodens slut. I genomsnitt var dock den kumulativa evaporationen något lägre i det plöjningsfria ledet (fig. 11). Den kumulativa evaporationen var totalt sett väsentligt högre på Finnbo jämfört med på Ultuna och Säby I. Notera emellertid att starttidpunkten varierade mellan försöken i samma omfattning som tidpunkten för vårbrukets start. Detta innebär att den potentiella evaporationen inte varit exakt densamma. Resultaten är således försöksvis inte storleksmässigt direkt jämförbara. Några stora skillnader i kumulativ potentiell evaporation förelåg ej varför den högst uppmätta totalevaporationen på Finnbo med största sannolikhet även varit högst om mätperioderna sammanfallit helt.

### Serie II

Signifikanta och betydligt större ledskillnader i kumulativ evaporation uppmättes däremot i serie II som återspeglar förhållandena efter nederbörd (fig. 12a). I fig. 12b återges resultaten i form av den relativa evaporationshastigheten ( $E_a/E_p$ ) per dygn och i figuren kan de tre stegen klart urskiljas. Av figur 12b framgår också att steg ett på samtliga försöksplatser varat längre i det plöjda ledet samt vidare att evaporationshastigheten under alla tre stegen genomgående varit högre i det plöjda ledet. Skillnaden i evaporationshastighet var framför allt mycket stor under steg ett på Säby I.

### Serie III

Resultaten från serie III, där oförmultnade skörderesters effekt på evaporationsförloppet renodlats, redovisas i fig. 13a och 13b. Iögonfallande är skörderesternas stora reducerande effekt på den kumulativa evaporationen (fig. 13a). Iögonfallande är även den stora skillnaden i kumulativ evaporation mellan bevattnad och torr såbädd. Observera att skörderesterna reducerat mängden avdunstat vatten i störst omfattning på den kapillära jorden både vid bevattnad och vid torr såbädd. För att bättre åskådliggöra skörderesternas effekt på evaporationshastigheten och dess förkortning av steg ett vid bevattnad såbädd har även den relativa evaporationshastigheten per dygn beräknats (fig. 13b).

### Serie IV

Att de strukturella förändringar som uppstått vid plöjningsfri odling i lagren under såbädden varit av tillräcklig omfattning för att påverka evaporationen framgår av resultaten från

serie IV (fig. 14). Alla tre försöksplatser uppvisade en lägre kumulativ evaporation i det plöjningsfria ledet. Skillnaden var störst på Ultuna och minst på Säby I. Däremot var skillnaden mellan försöken i det plöjda ledet obetydlig. Trots små skillnader i evaporationshastighet mellan det plöjda och det plöjningsfria ledet är det ändå möjligt att utifrån fig. 6 konstatera att övergången från steg ett till steg två även i denna serie inträffat något tidigare i det plöjningsfria ledet. Effekten på den kumulativa evaporationen blir i detta fall emellertid inte speciellt stor.

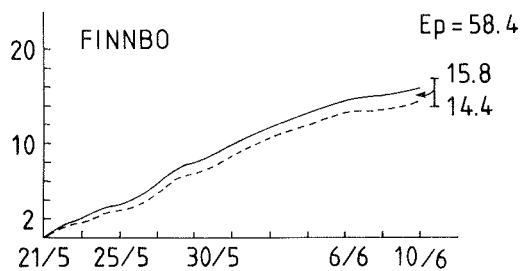
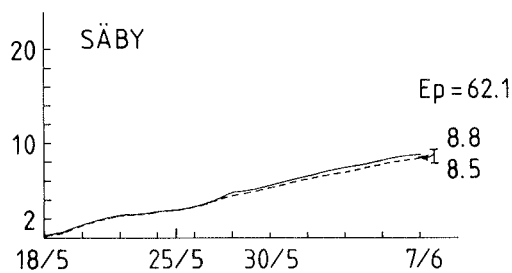
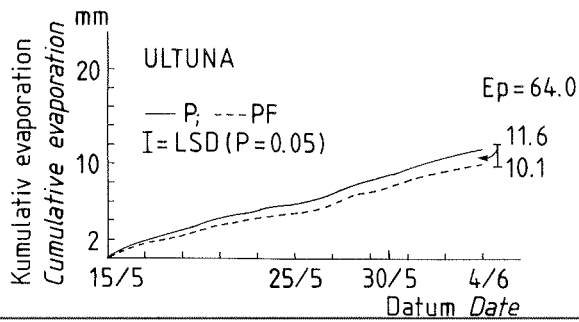


Fig. 11. Serie I. Effekten av plöjningsfri odling på kumulativ evaporation under nederbördsfria förhållanden.  
 P = konventionell bearbetning, PF = plöjningsfri odling,  
 $E_p$  = potentiell evaporation.

*Series I. The effect of ploughless tillage on cumulative evaporation. No precipitation.*  
 P = conventional tillage, PF = ploughless tillage,  
 $E_p$  = potential evaporation.

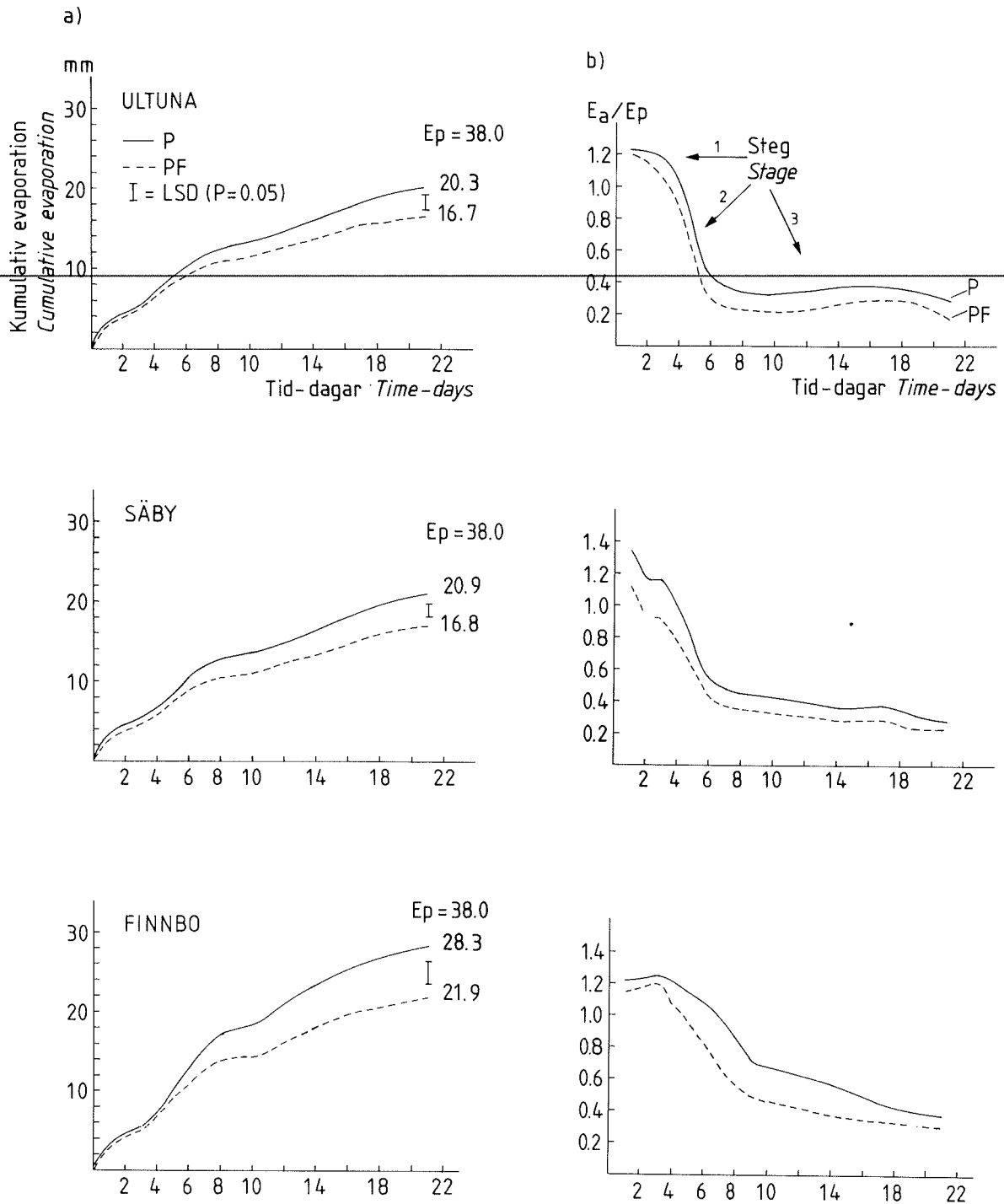


Fig. 12a och b. Serie II. Effekten av plöjningsfri odling efter riklig bevattning (ca 35-40 mm) på kumulativ evaporation (a) och relativ evaporationshastighet,  $E_a/E_p$ , (b).  $E_a$ =aktuell evaporation,  $E_p$ =potentiell evaporation.  
 Series II. The effect of ploughless tillage after irrigation (ca 35-40 mm) on cumulative evaporation (a) and relative evaporation rate,  $E_a/E_p$ , (b).  $E_a$ =actual evaporation,  $E_p$ =potential evaporation.



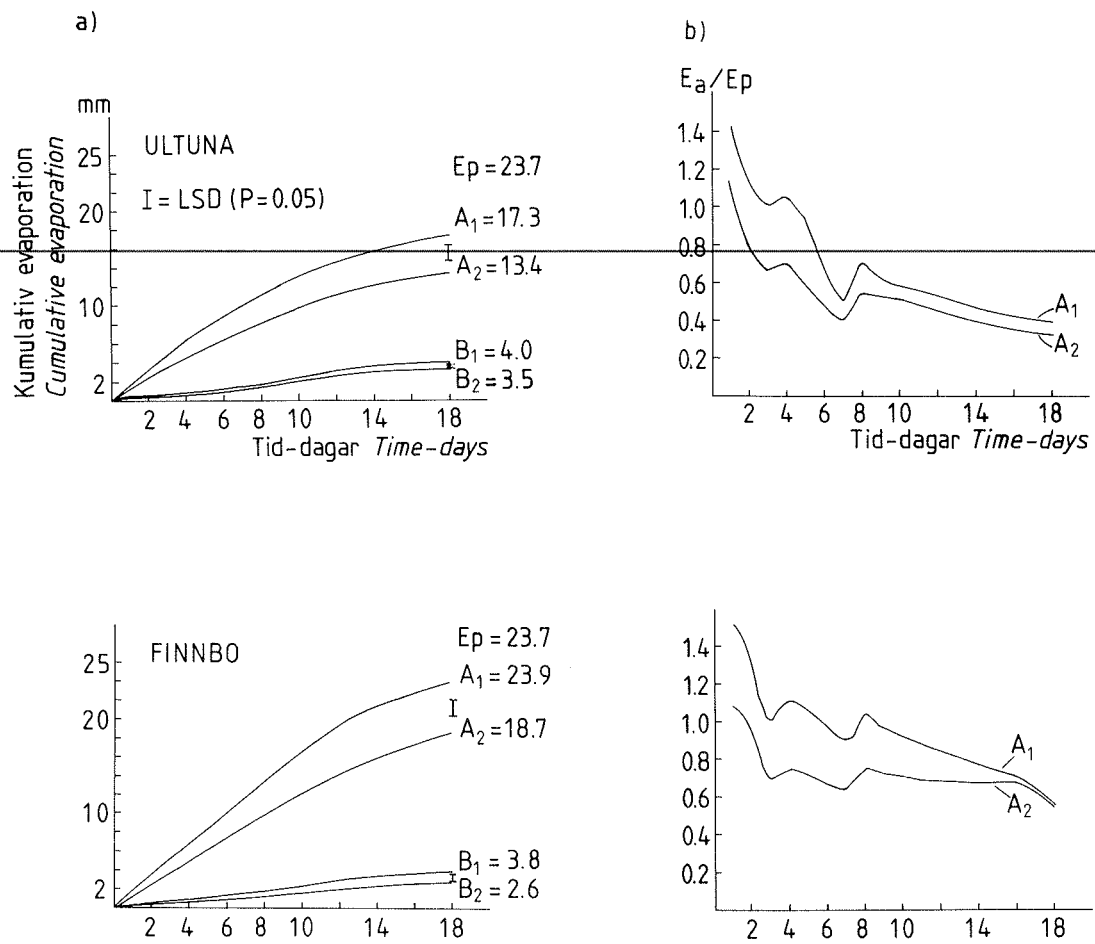


Fig. 13 a och b. Serie III. Effekten av oförmultnade skörderester ( $0.5 \text{ kg/m}^2$ ) i såbädden på kumulativ evaporation (a) och relativ evaporationshastighet,  $E_a/E_p$ , efter bevattning (15 mm) (b). A<sub>1</sub>=utan skörderester, bevattnat, A<sub>2</sub>=med skörderester, bevattnat, B<sub>1</sub>=utan skörderester, torr såbädd, B<sub>2</sub>=med skörderester, torr såbädd.

*Series III. The effect of undecayed residues ( $0.5 \text{ kg/m}^2$ ) on cumulative evaporation (a) and relative evaporation rate,  $E_a/E_p$ , after irrigation (15 mm) (b). A<sub>1</sub>=without residues, irrigated, A<sub>2</sub>=with residues, irrigated, B<sub>1</sub>=without residues, dry seedbed, B<sub>2</sub>=with residues, dry seedbed.*

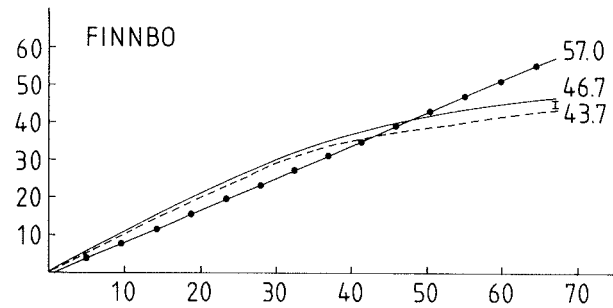
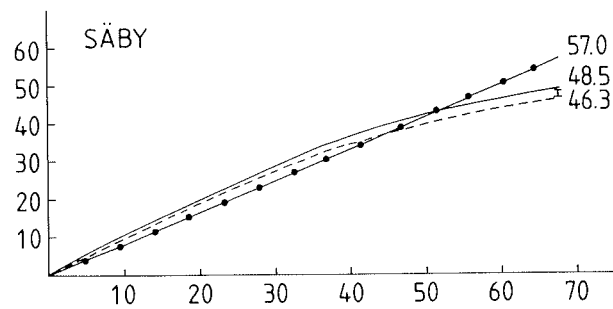
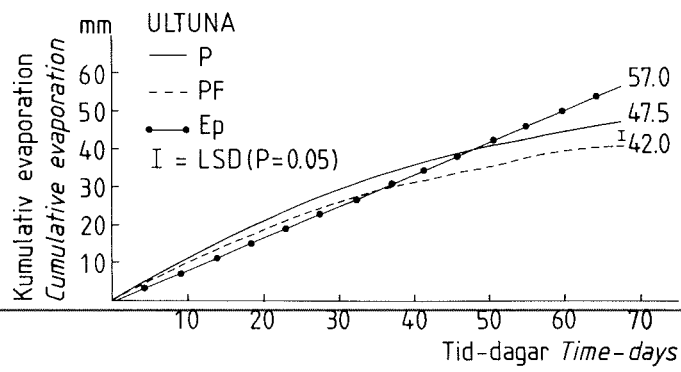


Fig. 14. Serie IV. Skillnad i kumulativ evaporation mellan plöjt led (P) och plöjningsfritt led (PF) då såbädden avlägsnats.

*Series IV. Difference in cumulative evaporation between conventional tillage (P) and ploughless tillage (PF) when the seedbed was removed.*

## DISKUSSION

Allmänt gäller att evaporationshastighetens förändring med tiden påverkas av storleken på den potentiella evaporationen ( $E_p$ ). I fig. 15 illustreras schematiskt, från ett arbete av Gardner & Hillel (1962) med finmo-grovmjälajord i 22 cm djupa cylindrar, hur evaporationshastigheten förändras vid tre olika men konstanta värden på  $E_p$ . Ju större  $E_p$  desto kortare blir fasen med maximal evaporation. En långsam upptorkning förlänger det första steget. Skillnaden i kumulativ evaporation blir beroende av hur mycket vatten som sparas i början och av torrperiodens längd (Heinonen, 1985).

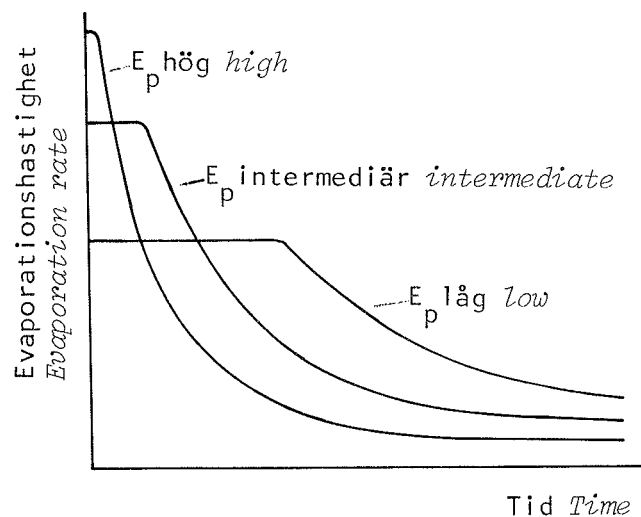


Fig. 15. Schematisk bild av evaporationshastigheten som funktion av tiden vid olika potentiell evaporation  $E_p$ . Efter resultat hos Gardner & Hillel (1962).

*Schematic representation of evaporation rate as a function of time for different potential evaporation  $E_p$ . From results reported by Gardner & Hillel (1962).*

De schematiska kurvorna i fig. 15 illustrerar även evaporationsförloppet vid stigande mängd skörderester på ytan vid ett och samma  $E_p$ -värde (Bond & Willis, 1969; Philips, 1984). Ju större mängd skörderester desto längre blir fasen med maximal evaporation. Efter långvarig (ca 2 månader) intensiv torka efter nederbörd redovisade Bond & Willis (1971) endast en obetydlig reduktion av den kumulativa evaporationen vid yttäckning. Ej alltför sällan återkommande regnperioder ökar däremot skörderesternas evaporationsdämpande effekt (Russel, 1939).

I serie I har evaporationen till största delen styrts av profilernas förmåga att leverera vatten. Hur stor del av de ledvis uppmätta skillnaderna som orsakats av olikheter i lysi-meterbottnarna eller av såbäddsskillnader, exempelvis olika aggregatstorleksfördelning (fig. 16) eller olika mängd skörderester i ytskiktet, går naturligtvis inte att beräkna. Troligt är emellertid att den ökade andelen grova aggregat och den minskade mängden aggregat <4 mm i de plöjningsfria såbäddarna varit till nackdel under förhållanden med stark vind. Tidigare såbäddsundersökningar (Rydberg, 1986) har genomgående även visat på en mindre andel aggregat <4 mm. Det något avvikande resultatet denna gång från Ultunaförsöket får tillskrivas den icke normala såbäddsberedningen våren 1985. För de som är intresserade av information om hur olika aggregatstorlekar, olika aggregatsstorleksfördelningar samt olika såbäddars utformning i övrigt påverkar evaporationen hänvisas till arbeten utförda av Lemon (1956), Hanks & Woodruff (1958), Holmes et al. (1960), van Doren (1967), Hillel & Hadas (1972), Hadas (1975), Håkansson & von Polgar (1976, 1977) och Heinonen (1985).

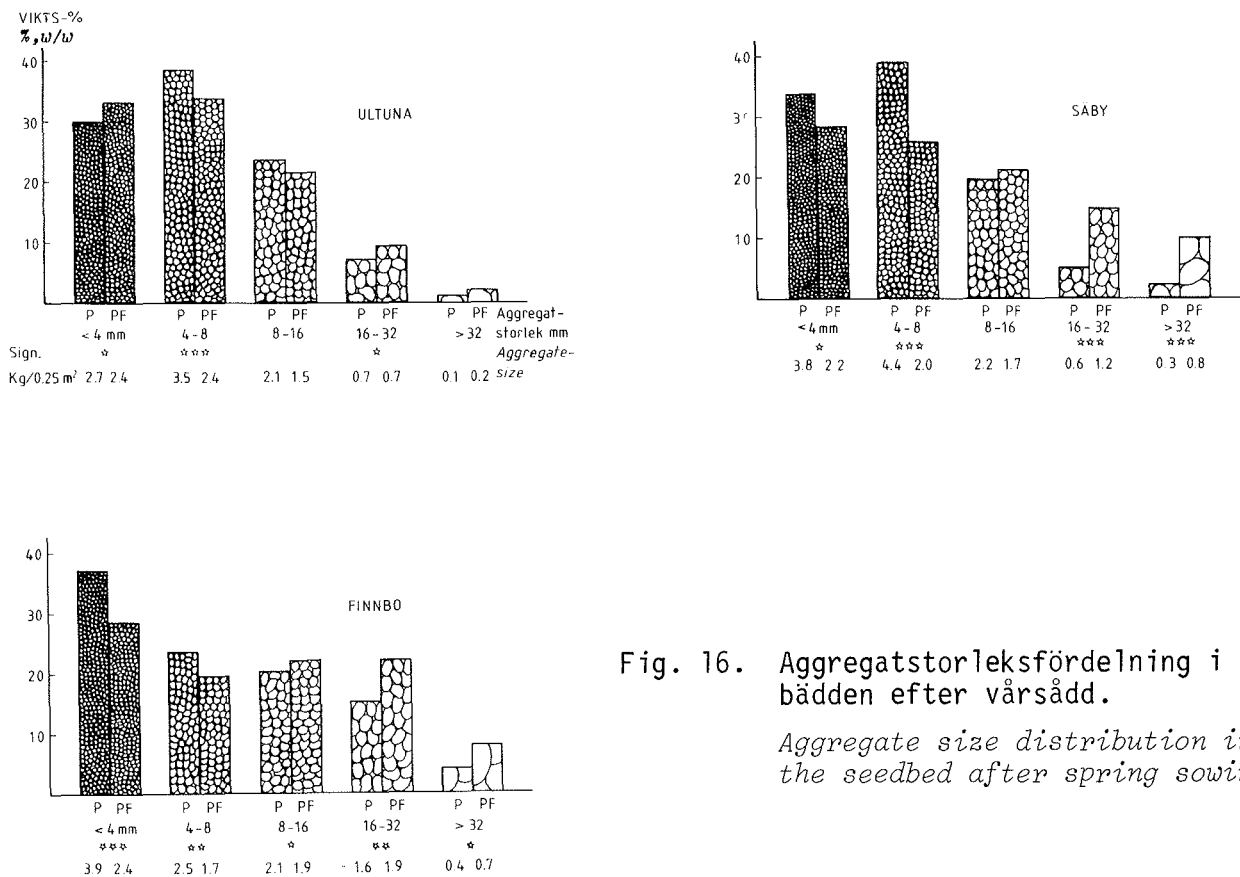


Fig. 16. Aggregatstorleksfördelning i såbädden efter vårsådd.  
Aggregate size distribution in the seedbed after spring sowing.

Vid genomförandet av serie II kunde försöksvis med blotta ögat konstateras en tidigare upptorkning av ytskiktet i de "plöjningsfria" lysimetrarna, vilket också återspeglas i fig. 12 genom en förkortning av steg ett. I engelskspråkig litteratur skulle resultatet ha beskrivits som en förbättrad "self-mulching" i det plöjningsfria ledet. Den tidigare upptorkningen orsakades förmodligen i första hand av att en mindre igenslamnad såbädd, p.g.a. en större mängd oförmultnade skörderester och stabilare aggregat (Rydberg, 1986), medfört en förbättrad dräneringsförmåga och en försämrad kapillaritet. Upptorkningen borde likaså delvis ha befrämjats av en större mängd oförmultnade skörderester och stabilare aggregat i nivån från harv- till stubbearbetningsdjup. Den i många sammanhang påvisade och/eller omtalade förbättringen av porkontinuiteten i obearbetad jord (Baeumer & Bakermans, 1973; Ehlers, 1975, 1976; Goss et al., 1978; Barnes & Ellis, 1979; Douglas et al., 1980; Rydberg, 1986) kan också något ha påskyndat upptorkningen av ytskiktet genom att dräneringen i nivåerna under stubbearbetningsdjupet förbättrats. En större turbulens på ytan i det plöjningsfria ledet, p.g.a. en mindre igenslamning och därav en större mängd kvarvarande grova aggregat (fig. 17), kan även den ha bidragit till förkortningen av det första steget. Det är emellertid inte i alla situationer som en högre turbulens medför en högre potentiell evaporation. Det komplexa samspelet mellan turbulens och värmeöverföring till och från jorden kan under vissa förhållanden resultera i att en höjning av turbulensen sänker evaporationshastigheten (Holmes et al., 1960).

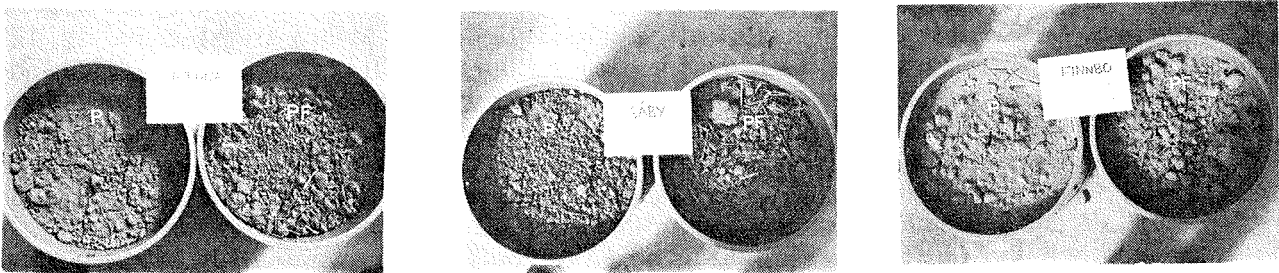


Fig. 17. Markytans utseende några dagar efter bevattning (serie II).

*Appearance of the soil surface some days after irrigation (Series II).*

Huruvida en förkortning av steg ett p.g.a en högre potentiell evaporation skulle vara positivt för vattenhushållningen är dock ej helt klarlagt. Visserligen visade Buckingham redan år 1907, på våt jord i lysimetrar i laboratorium, att den totala evaporationen i det långa loppet blev lägre under arida förhållanden än under humida. Som förklaring anförde han en hastigare upptorkning av ytskiktet under arida förhållanden. Den s.k. "Buckingham-effekten", som åsyftar dessa laboratorieresultat, har accepterats av vissa men också helt förkastats av andra (se Bond & Willis, 1971). Heinonen (1985) har utifrån analys av olika arbeten en mindre kategorisk uppfattning, nämligen den att effekten kan uppstå på jordar med mycket god "self-mulching-förmåga".

En minskad skorpbildningsrisk p.g.a en minskad igenlamningsbenägenhet är naturligtvis en odiskutabel fördel för exempelvis infiltration, luftväxling och uppkomst. Avdunstningsmässigt kan en minskad skorpbildning i sig vara till nackdel. En tunn ytskorpa med få sprickor reducerar nämligen evaporationen (Bresler & Kemper, 1970), eftersom den minskar jordens luftväxling och särskilt vindens uttorkande verkan. En djupare igenlamning som åstadkommer goda kapillära förbindelser igenom hela matjordslagret, vilket är typiskt för mo- och mjälajordar, har däremot alltid en mycket ogynnsam effekt (Heinonen, 1985).

Den stora ledskillnaden i aktuell evaporation under steg ett på Säby I (fig. 12b), i jämförelse med den på Ultuna och Finnbo, har troligtvis orsakats av en större reflektion av inkommande solstrålning p.g.a en större mängd oförmultnade skörderester i ytskiktet i det plöjningsfria ledet. Genom reflektionen reduceras mängden solstrålning till markytan och därigenom också mängden tillgänglig energi för ångbildningen. Thunholm (1985) uppmätte en lägre temperatur på såbotten i det plöjningsfria ledet på Ultunaförsöket under de två första veckorna efter vårsådden 1985 och som förklaring framför han en större reflektion p.g.a skörderesterna.

Under steg två och tre, i serie II, har sedan evaporationsförloppet i allt större omfattning styrts av de enskilda profilernas förmåga och möjlighet att leverera vatten. Av fig. 12b framgår att differensen i aktuell evaporation mellan det plöjda och det icke plöjda ledet blir allt mindre och mindre. Möjligt är att kurvorna vid en förlängning av torrperioden skulle ha korsat varandra och att den plöjningsfria odlingens positiva effekt på vattenhushållningen därigenom skulle ha reducerats eller rent av försvunnit helt. Värdet av en reducerad evaporation i ett kortare tidsperspektiv förringas för den skull under inga omständigheter, då den i vissa kritiska situationer kan vara helt avgörande för exempelvis en grödas groning och uppkomst. I vårt klimat är också torrperioderna nästan alltid så korta att den initiala reduktionen väger tyngst.

Tidigare uppgavs att mängden upptaget vatten efter bevattningarna inför serie II i genomsnitt var ungefär lika i de två leden på Ultuna och Säby I men i genomsnitt något lägre i det plöjningsfria ledet på Finnbo. Om den lägre upptagna mängden vatten var ett resultat av att dräneringsförmågan förbättrats och/eller av att en större mängd vatten dränerats vid sidan av jordcyllindern har ej vidare undersökts. Statistiska beräkningar visade dock att det framför allt i det plöjda ledet på Finnbo förelåg ett positivt samband, men med låg korrelation, mellan mängden upptaget vatten och totala mängden avdunstat vatten. Korrikerat för regressjonen blir ledskillnaden i total evaporation på Finnbo ca 3 mm mindre än vad som redovisas i fig. 12a. Det var detta påvisade samband som föranledde att bevattningsrutinerna inför serie III och IV modifierades så att resultaten ej skulle påverkas av skillnader i mängden upptaget vatten. Det påvisade sambandet tillsammans med osäkerheten om orsaken försvårar en alltför långtgående jämförelse av resultaten från Finnbo med de från Ultuna och Säby I i serie II. Något samband av betydelse mellan de enskilda lysimetrarnas totala vatteninnehåll efter bevattning och den totala mängden avdunstat vatten har ej noterats i någon serie.

En styv lera brukar vid ej alltför låg potentiell evaporation betraktas som en jord med god "self-mulching-förmåga", medan så icke är fallet med en kapillär mjällig lättlera. En in-

blandning av skörderester i ytskiktet på dessa jordar borde därför, i ett kortare tidsperspektiv efter nederbörd, reducera den totala evaporationen mer på mjälalättleran än på den styva leran. Detta illustreras med önskvärd tydlighet i serie III, trots en förhållandevis låg potentiell evaporation. Värdet av skörderesternas positiva verkan på vattenhushållningen framstår än klarare om hänsyn också tas till att rotutvecklingen på en mjälalättlera ofta är begränsad till matjorden (se fig. 8) samt att matjorden vid hög potentiell evaporation mycket hastigt kan förlora allt växttillgängligt vatten. Matjordens snabba uttorkning är en kombinationseffekt dels av en ringa "self-mulching-förmåga" och av dels alvens oförmåga att förse matjorden med vatten i den takt som vatten levereras till atmosfären.

~~Om vattentransporten genom torr såbädd i större utsträckning är kapillär på en mjälalättlera än på en styv lera skulle detta kunna förklara varför skörderesterna även vid obevattnad såbädd reducerat totalevaporationen mer på Finnbo än på Ultuna.~~

Även i serie IV torde en större mängd oförmultnade skörderester och stabilare aggregat i ytskiktet (nivån närmast under såbädden) till stora delar förklara den genomgående lägre evaporationen från de "plöjningsfria lysimetrarna".

I samband med borringarna togs, som tidigare nämnts, små jordcylindrar (höjd = 100 mm, diam = 70 mm) ut för bestämning av volymvikter och vattenhalter. Vid torkningen av dessa (3 dygn i 105°C) uppstod en volymminskning som på cylindrarna från centrala matjorden var mindre i det plöjningsfria ledet både på Ultuna och Säby I. Ledskillnaden var störst på Ultuna. Cylindrarna från Finnbo blev efter torkning alltför sköra för att kunna volymbestämmas. En reducerad volymminskning borde innebära en reducerad sprickbildningsbenägenhet och eftersom avdunstningen efter det att ytskiktet torkat upp sker allt djupare och djupare ner i profilen och företrädesvis från torksprickor (Hillel, 1980) så borde en reducerad volymminskning också innebära en minskad avdunstningshastighet.

Då serie IV genomfördes i laboratoriet uppmättes i genomsnitt ej någon högre totalevaporation på den kapillära jorden från Finnbo. Med största sannolikhet var orsaken till detta en allt för låg potentiell evaporation (0.85 mm/dygn). Vid motsvarande studie utomhus och med en potentiell evaporation på i genomsnitt 1.4 mm/dygn noterades en något högre totalevaporation på lysimetrarna från Finnbo jämfört med de från Ultuna och Säby I. Ledskillnaden i totalevaporation var även vid utomhusmätningarna störst på Ultuna och minst på Säby I. Vid både utomhus- och inomhusmätningarna avvek ledskillnaden på Finnbo starkt mässigt minst från den på Säby I. Eftersom Ultunaförsöket anlades 1974, Finnboförsöket 1980 och Säbyförsöket 1983 ligger det nära till hands att föreslå försöksåldern som en delvis bidragande orsak till de erhållna ledskillnaderna mellan försöksplatserna.

Till skillnad från i serie I, II och III har evaporationsförloppet vid laboratorieutförandet av serie IV ej påverkats av några dygnsvisa temperaturvariationer. Så länge som profilens ytskikt är vått har en temperaturgradient ingen nämnvärd inverkan på evaporationen (Philip, 1957) eftersom huvuddelen av vattentransporten då är kapillär. Allteftersom profilen torkar ut ökar andelen vatten som transporteras i ångfas och därmed ökar också temperaturgradientens inverkan på evaporationen. Den dygnsvisa temperaturvariationen medför att vattenånga transporteras både upp och ned i profilen. Under natten kyls markytan oftast ned så att vattenånga transporteras uppåt och kondenseras där. Under en torr och solig dag förlorar markytan vattenånga förutom till atmosfären också till djupare och kallare lager i profilen (Hide, 1954). Hadas (1975) visade i laboratorium att en dygnsvis temperaturvariation resulterar i en lägre kumulativ evaporation jämfört med under konstanta förhållanden. Den dygnsvisa temperaturvariationen medför också en distinktare gräns mellan torr och fuktig jord i matjordens översta del (Hide, 1954; Hadas, 1975). Gränsdjupet är beroende av jordstrukturen och av intensiteten och varaktigheten av torkan och mycket tyder på att det tämligen väl sammanfaller med det empiriskt funna optimumsdjupet (Heinonen, 1985). Evaporationsmätningar under konstanta laboratorieförhållanden är således inte helt jämförbara med mätningar som påverkats av dygnsvisa temperaturvaria-

tioner. Hadas (1975) redovisar skillnader på ca 10-20 % i kumulativ evaporation. Några jämförande undersökningar, mellan plöjda respektive oplöjda profiler, av temperaturvariationens inverkan på evaporationen har ej påträffats.

## AVSLUTANDE SYNPUNKTER

Resultaten från rotstudierna och evaporationsmätningarna motsäger på intet sätt de slutsatser som drogs utifrån de inledningsvis nämnda markfysikaliska och markkemiska undersökningarna, nämligen för det första att den största nackdelen med plöjningsfri odling är den ökade kompaktheten i centrala matjorden och för det andra att de största fördelarna är den förbättrade vattenhushållningen och den ökade genomsläppligheten (porkontinuitet, rotframkomlighet) i matjordens nedre och i alvens översta del.

Resultaten motsäger därför inte heller de rekommendationer som gavs i syfte att på ett effektivare sätt utnyttja de potentiella möjligheterna med plöjningsfri odling, nämligen att det praktiska genomförandet måste förändras så att en markant reduktion av packningen äger rum och att en ny såmaskinskonstruktion, som bemästrar skörderesterna, utvecklas. Som förslag till åtgärder mot minskad packning angavs "harvsådd", och rotstudierna visar ju också på klara förbättringar. Inom parentes kan tilläggas att försöksresultaten med plöjningsfri harvsådd för år 1986 är mycket tillfredsställande på samtliga de tre för närvarande pågående försöken (Säby I och II och ett på Ultuna). Avkastningen var genomgående högre, i genomsnitt 5 %, i ledet med plöjningsfri harvsådd i jämförelse med konventionell bearbetning. I förhållande till PF-ledet var avkastningen 2 % högre på Säby I (SL), 4 % högre på Ultuna (SL) och lika på Säby II (moLL).

Rotstudierna visar emellertid också att rotutvecklingen ändå hämmats något i centrala matjorden trots plöjningsfri harvsådd, varför det i den fortsatta försöksverksamheten om möjligt borde användas harvsåddekpage med lägre totalvikt och försedda med lågtrycksdäck. Vad beträffar de tekniska problemen med skörderesterna i ytskiktet i samband med sådd, kan nämnas att inför 1987 planeras två stycken fältförsök med en helt ny såmaskinskonstruktion.

## SAMMANFATTNING

Under år 1985 har effekten av utelämnad plöjning på rotutveckling och evaporation varit föremål för ytterligare undersökningar. Rotutvecklingen studerades (skiktvis i fält manuell friläggning) i juni och juli på fyra stycken försöksplatser; Ultuna (SL), Säby I (SL), Säby II (moLL) och Finnbo (mjLL). Evaporationen mättes på utborrade lysimetrar (höjd = 40 cm, diam = 30 cm) från försöken på Ultuna, Säby I och Finnbo. Som mått på evaporationen användes lysimetrarnas viktminskning. Evaporationsstudierna omfattar fyra serier (I-IV). I serie I registrerades evaporationsförloppet efter vårbruk utan nederbörd och i serie II efter vårbruk följt av nederbörd. I serie III renodlades effekten av i såbädden inblandade skörderester, både utan och efter nederbörd, och i serie IV mättes evaporationen exkl såbädd. Samtliga undersökningar omfattar en jämförelse av de båda huvudleden konventionell bearbetning (P) och plöjningsfri odling (PF). I ledet med plöjningsfri odling har höstplöjningen ersatts med 2-3 st stubbearbetningar till ca 10 cm, medan såbäddsberedning



och sådd utförts som i det konventionellt plöjda ledet. Rotstudierna på Säby I och II omfattar även ledet plöjningsfri harvsådd (PFH). I detta led har den konventionella såbäddsberedningen och sådden ersatts medelst harvsådd. Inga skörderester har bortförts från de undersökta försöksplatserna, men halmen har hackats i samband med skörd. Växtföljden har på försöksplatserna under den senaste 10-års perioden varit stråsädesdominerad och växtnäringstillförseln har skett enligt gällande rekommendationer. Resultaten sammanfattas i det följande.

- Rottillväxten har genomgående hämmats i centrala matjorden vid plöjningsfri odling (PF) och hämningen tillskrivs i första hand ett alltför högt mekaniskt motstånd. De negativa effekterna var mest påtagliga på Finnbo och Säby II, d.v.s på de två försöksplatser med "lätt" jord, något mindre på Säby I och minst på Ultuna. Som sannolik förklaring till de mindre negativa effekterna på Ultuna i jämförelse med på Säby I, framhålls en tidsmässigt längre ostörd strukturutveckling; 10 år på Ultuna mot endast 3 år på Säby I.
- Vid plöjningsfri harvsådd (PFH) förbättrades rotutvecklingen i centrala matjorden gentemot ledet med normal plöjningsfri odling (PF), men den var dock ej lika riklig som vid konventionell bearbetning (P).
- I samtliga försök noterades i alla avseenden en sämre rotutveckling på plogsuledjup i det plöjda ledet. Störst förbättring av utebliven plöjning konstaterades på Ultuna. På både Säby I och II var de negativa effekterna minst uttalade i ledet med plöjningsfri harvsådd.
- Registrerade ledskillnader i tillväxt och förgreningstendens i alven hänförs i rapporten i första hand till rotsystemets fantastiska förmåga att, då möjlighet föreligger efter behov kunna kompensera en tidigare hämmad rotframkomlighet.
- Rotutvecklingen har på ett mycket iögonfallande sätt gynnats av befintliga sprickor, maskkanaler och övriga porer. Sprickornas storlek var oftast mindre vid utebliven plöjning, medan antalet maskkanaler oftast var större. På Säby I och II och Finnbo uppskattades antalet maskkanaler till det dubbla i de oplöjda leden i jämförelse med i det plöjda.
- I serie I, evaporation efter vårbruk utan nederbörd, noterades inga signifikanta ledskillnader vid mätperiodens slut. I genomsnitt var emellertid den kumulativa evaporationen något lägre i det plöjningsfria ledet på samtliga tre försöksplatser.
- I serie II, evaporation efter vårbruk som följts av nederbörd, uppmättes på alla försöksplatser en signifikant lägre kumulativ evaporation i det plöjningsfria ledet. Orsaken anses främst vara en tidigare upptorkning av ytskiktet i det plöjningsfria ledet. Den tidigare upptorkningen förklaras i sin tur i första hand med att en minskad igenslamning av såbädden underlättat dräneringen samtidigt som den försämrat möjligheten för kapillär upptransport.
- I serie III, där skörderesternas effekt på evaporationen renodlats, konstaterades signifikant lägre kumulativ evaporation med skörderester inblandade i såbädden både utan och efter bevattning. Den totala evaporationen liksom skillnaden mellan med och utan skörderester var avsevärt större efter bevattning. Skörderesternas positiva effekt på vattenhushållningen var större på mjälalättleran från Finnbo än på den styva leran från Ultuna.

- I serie IV påvisades att även de strukturella förändringar som uppstått vid plöjningsfri odling i lagren under såbädden var av sådan karaktär att de reducerade evaporationshastigheten.
  - Under rubriken "avslutande synpunkter" rekommenderas att det fortsatta arbetet, med plöjningsfri odling och plöjningsfri harvsådd, i första hand bör inriktas på att reducera packningen samt på att utveckla en ny såmaskinskonstruktion som bemästrar rikliga skörderestmängder.
-

## SUMMARY

The effects of reduced tillage on root development and evaporation was investigated in a programme of research during 1985. Root development was studied during June and July after manual exposure of successive soil layers on 4 research sites: Ultuna (heavy clay), Säby I (heavy clay), Säby II (clay loam) and Finnbo (silty clay loam). Evaporation was measured on lysimeters of dimensions height = 40 cm, diameter = 30 cm, excavated from the Ultuna, Säby I and Finnbo sites. Reduction in lysimeter weight was taken as the measure of evaporation. Evaporation investigations consisted of 4 Series (I-IV). In the first of these, the evaporation process after spring cultivation was registered in the absence of precipitation. In Series II, evaporation with precipitation after spring cultivation was measured. In Series III, the effect on evaporation of incorporating crop residues into the seedbed was measured both with and without precipitation. Finally, evaporation from soil from which the seedbed was removed was measured in Series IV. All measurements of evaporation in Series I, II and IV and all studies of root growth involved comparison between the two treatments, conventional tillage (P) and ploughless tillage (PF). In the PF system, autumn ploughing was replaced by 2-3 stubble cultivations to approx. 10 cm depth, followed by seedbed preparation and sowing as in the conventional (P) system. On Säby I and II, the root studies were also carried out after a third type of tillage, namely stubble cultivation followed by seedbed preparation and sowing in one pass, called "ploughless once-over sowing" (PFH). In this system, the seedbed was prepared, with a PTO-driven harrow and sown with an ordinary drill coupled in tandem to the harrow. No crop wastes were removed from any of the research plots but the straw was chopped during harvesting. Crop rotation on these sites during the last 10 years was dominated by cereals and the soil had been fertilized according to recommendations at the time. Results can be summarized as follows:

- Root development was hampered in mid-topsoil in all cases where ploughless tillage (PF) was used. This effect can be attributed chiefly to excessive mechanical resistance in this part of the soil profile. The negative effects were most obvious on Finnbo and Säby II sites, i.e. on the two "light" soils, somewhat less on Säby I and least on Ultuna. One possible explanation for the lower effect on Ultuna compared to Säby I is the difference in duration of undisturbed structure development in the history of these soils; 10 years on Ultuna compared to only 3 on Säby I.
- Under the PFH system, root development in mid-topsoil was better than under the PF system but not as good as under conventional (P) treatment.
- On all sites, root development was poorer in all respects immediately below the plough layer in ploughed plots. The best effects of excluding ploughing from the cultivation system were observed on Ultuna. On both Säby I and II, the negative effects below the plough layer were least evident under the PFH system.
- Differences between plots in root growth and root branching in the subsoil have been attributed in this report to the fantastic ability of the root system to compensate, where possible, for previously inhibited growth.

- Root development was favoured in a very striking manner by existing cracks, worm channels and larger pores in the soil. Cracks were often smaller after reduced tillage but the number of worm channels was often greater. On Säby I, Säby II and Finnbo, the frequency of earthworm channels in unploughed plots was estimated to be double that in ploughed plots.
- In Series I, evaporation after spring cultivation without precipitation, there were no significant differences between plots at the end of measurement period. Cumulative evaporation was, however, somewhat lower on average from the ploughless plots on all three research sites.

---

- In Series II, evaporation after spring cultivation with precipitation, cumulative evaporation was significantly lower from ploughless plots on all sites. The reason for this was thought to be the earlier drying out of the surface layer in these plots. This earlier drying was, in its turn, due mainly to the fact that a reduced slaking in the seedbed improved infiltration while simultaneously reducing the possibilities for capillary transport.
- In Series III, which investigated the effects of harvest waste on evaporation, cumulative evaporation was significantly lower from those treatments which had the straw incorporated, whether without or with precipitation. The total evaporation and the moisture-conserving effect of incorporated straw were greater in the irrigated treatments. The positive effect of straw incorporation on moisture retention was also greater on the silty clay loam of Finnbo than on the Ultuna heavy clay.
- Series IV showed that soil structural changes brought about by ploughless tillage in layers under the seedbed also acted to reduce rate of evaporation from the soil.
- In conclusion, this report recommends that continued research on reduced tillage be chiefly directed towards solving the compaction problem and towards developing a new type of drill which can cope with large amounts of straw in the seedbed.

## LITTERATUR

- Andersson, S. 1969. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XVIII. Om en ny och enkel evaporimeter. - Grundförbättring, 22, s. 59-66.
- Baeumer, K. & Bakermans, W.A.P. 1973. Zero-tillage. - Adv. Agron., 25, s. 78-120.
- Bakermans, W.A.P. & De Wit, C.T. 1970. Crop husbandry on naturally compacted soils. - Neth. J. Agric. Sci., 18, s. 225-246.
- Barley, K.P. & Greacen, E.L. 1967. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. - Adv. Agron., 19, s. 1-43.
- Barley, K.P., Farrell, D.A. & Greacen, E.L. 1965. The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. - Aust. J. Soil Res., 3, s. 69-79.
- Barnes, B.T. & Ellis, F.B. 1979. Effects of different methods of cultivation and direct drilling, and disposal of straw residues, on populations of earthworms. - J. Soil Sci., 30, s. 669-679.
- Bar-Yosef, B. & Lambert, J.R. 1981. Corn and cotton root growth in response to soil impedance and water potential. - Soil Sci. Soc. Am. J., 45, s. 930-935.
- Baver, L.D., Gardner, W.H. & Gardner, W.R. 1972. - Soil Physics, (4th edn.), Wiley, New York.
- Bond, J.J. & Willis, W.O. 1969. Soil water evaporation: Surface residue rate and placement effects. - Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33, s. 445-448.
- Bond, J.J. & Willis, W.O. 1971. Soil water evaporation: Long-term drying as influenced by surface residue and evaporation potential. - Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36, s. 984-987.
- Bressler, E. & Kemper, W.D. 1970. Soil water evaporation as affected by wetting methods and crust formation. - Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34, s. 3-8.
- Buckingham, E. 1907. Studies of the movement of soil moisture. - U.S. Dept. Agr. Bureau of Soils. Bulletin 38.
- Cederlund, J. 1982. Kombinerad bearbetning och sådd (harvsådd). - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för jordbearbetning. Rapporter, 64.
- Douglas, J.T., Goss, M.J. & Hill, D. 1980. Measurements of pore characteristics in a clay soil under ploughing and direct drilling, including use of a radioactive tracer ( $^{144}\text{Ce}$ ) technique. - Soil Tillage Res., 1, s. 11-18.
- Drew, M.C. & Saker, L.R. 1980. Direct drilling and ploughing: their effects on the distribution of extractable phosphorus and potassium, and of roots, in the upper horizons of two clay soils under winter wheat and spring barley. - J. Agric. Sci., Camb., 94, s. 411-423.
- Eavis, B.W. 1967. Mechanical impedance and root growth. - Symp. Inst. Agric. Engr. (Silsoe, U.K.). Pap. 4/F 39, s. 1-11.

- Eavis, B.W. 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth. - *Plant and Soil*, 36, s. 613-632.
- Ehlers, W. 1975. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. - *Soil Sci.*, 119, s. 242-249.
- Ehlers, W. 1976. Water infiltration and redistribution in tilled and untilled loess soil. - *Göttinger Bodenkd. Ber.*, 44, s. 137-156.
- Ehlers, W., Köpke, U., Hesse, F. & Böhm, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. - *Soil Tillage Res.*, 3, s. 261-275.
- Elkins, C.B., Haaland, R.L. & Hoveland, C.S. 1977. Grass roots as a tool for penetrating soil hardpans and increasing crop yields. - *Proc. 34th Southern Pasture and Forage Crop Impr. Conf.*, Auburn Univ., Alabama, s. 21-26.
- Elkins, C.B. 1985. Plant roots as tillage tools. - *Proc. Int. Conf. on Soil Dynamics.*, Auburn Univ., Alabama, 3, s. 519-523.
- Ellis, F.B., Elliot, J.G., Barnes, B.T. & Howse, K.R. 1977. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. 2. Spring barley on a sandy loam soil: soil physical conditions and root growth. - *J. Agric. Sci., Camb.*, 89, s. 631-642.
- Eriksson, J. 1982. Markpackning och rotmiljö. - *Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapporter*, 126.
- Eriksson, J., Håkansson, I. & Danfors, B. 1974. Jordpackning - markstruktur - gröda. - *Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. Medd.*, 354.
- FAO: Guidelines for Soil Description. Odaterad. Förkortad stencil.
- Finney, J.R. & Knight, B.A.G. 1973. The effect of soil physical conditions produced by various cultivation systems on the root development of winter wheat. - *J. Agric. Sci., Camb.*, 80, s. 435-442.
- Friend, D.J.C. 1966. The effects of light and temperature on the growth of cereals. - *Proc. 12th Easter School in Agric. Sci., Univ. Nottingham*, s. 181-198.
- Gardner, W.R. & Hillel, D.I. 1962. The relation of external evaporative conditions to the drying of soils. - *J. Geophys. Res.*, 67, s. 4319-4325.
- Gill, W.R. & Miller, R.D. 1956. A method for study of the influence of mechanical impedance and aeration on the growth of seedling roots. - *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 20, s. 154-157.
- Goss, M.J., Howse, K.R. & Harris, W. 1978. Effects of cultivation on soil water retention and water use by cereals in clay soils. - *J. Soil Sci.*, 29, s. 475-488.

- Greacen, E.L. 1986. Root response to soil mechanical properties. - Manuscript submitted to Aust. J. Soil Res.
- Greacen, E.L., Barley, K.P. & Farrell, D.A. 1969. The mechanics of root growth in soils with particular reference to the implication for root distribution. - Proc. 15th Easter School in Agric. Sci., Univ. Nottingham, s. 256-269.
- Haak, E. 1978. Studier av stråsåds rotutveckling och mineralämnesupptag. A. Stråsåds rot-system. En litteraturöversikt. - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst. för radiobiologi. Rapporter, 43.
- 
- Hadas, A. 1975. Drying of layered soil columns under nonisothermal conditions. - Soil Sci., 119, s. 143-148.
- Hawks, R.J. & Woodruff, N.P. 1958. Influence of wind on water vapor transfer through soil gravel, and straw mulches. - Soil Sci., 86, s. 160-164.
- Heinonen, R. 1985. Soil Management and Crop Water Supply, 4th edition. - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Hide, J.C. 1954. Observations on factors influencing the evaporation of soil moisture. - Soil Sci. Soc. Am. Proc., 20, s. 120-125.
- Hillel, D. 1980. Applications of soil Physics. Academic Press, New York.
- Hillel, D. & Hadas, A. 1972. Isothermal drying of structured layered soil columns. - Soil Sci., 113, s. 30-35.
- Holmes, J.W., Greacen, E.L. & Gurr, C.G. 1960. The evaporation of water from bare soil with different tilths. - Trans. 7th Int. Cong. Soil Sci., 1, s. 188-194.
- Huhtapalo, Å. 1985. Sådd och såsteknik-såmetoder. - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Konsulentavdelningens rapporter, Allmänt 63, s. 21:1-6.
- Håkansson, I. 1966. Försök med olika packningsgrader i matjorden och alvens översta del. - Grundförbättring, 19, s. 281-332.
- Håkansson, I. & von Polgár, J. 1976. Modellförsök med såbäddens funktion. I: Såbädden som skydd mot avdunstning. - Lantbrukshögskolan, Uppsala. Avd. för jordbearbetning. Rapporter, 46.
- Håkansson, I. & von Polgár, J. 1977. Modellförsök med såbäddens funktion. II: Försök med skiktade och oskiktade såbäddar. - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för jordbearbetning. Rapporter, 53.
- Idso, S.B., Reginato, R.J., Jackson, R.D., Kimball, B.A. & Nakayama, F.S. 1974. The three stages of drying of a field soil. - Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38, s. 831-837.
- Ioffe, A.F. & Revut, J.B. (eds.) 1966. Fundamentals of Agrophysics. Jerusalem.
- Johansson, W. 1969. Meteorologiska elements inflytande på avdunstningen från Anderssons evaporimeter. - Grundförbättring, 22, s. 82-105.
- Lemon, E.R. 1956. The potentials for decreasing soil moisture evaporation loss. - Soil Sci. Soc. Am. Proc., 20, s. 120-125.

- Linnér, H. 1984. Markfuktighetens inflytande på evaporation, tillväxt, näringsupptagning, avkastning och kvalitet hos potatis  
- Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapporter, 142.
- McClintic, D. 1981. Vallodling luckrar jorden! Gräsrötter förhindrar packning och plogsula.  
- Fåran, 39, s. 6.
- Mårtensson, B. 1984. Harvsådd - preliminära försöksresultat 1979-83. - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för jordbearbetning. Rapporter, 67.
- 
- Osborne, D.J. 1976. Control of cell shape and cell size by the dual regulation of auxin and ethylen. In N. Sunderland (ed.), Perspectives in Experimental Biology, Vol. 2 Botany, Pergamon, Oxford, s. 89-102.
- Philip, J.R. 1957. Evaporation, and moisture and heat fields in the soil. - J. Meteorol., 14, s. 354-366.
- Phillips, R.E. 1984. Soil moisture. In R.E. Phillips & S.H. Phillips (eds.), No-Tillage Agriculture, s. 66-86.
- Rasmussen, K.J. 1981. Reduceret jordbearbejdning ved monokultur i byg. - Tidsskr. Planteavl, 86, s. 531-541.
- Rasmussen, K.J. & Olsen, C.C. 1983. Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrkning. I. Vaekstbetingelser, jordfysiske målinger og udbytter ved ensidig byg og saedskiftebyg. - Tidsskr. Planteavl, 87, s. 193-215.
- Richards, L.A., Gardner, W.R. & Ogata, G. 1956. Physical processes determining water loss from soil. - Soil Sci. Soc. Am. Proc., 20, s. 310-314.
- Riley, H., Njøs, A. & Ekeberg, E. 1985. Plogfri jordarbejdning til vårkorn. II. Jordundersøkelse. - Kise, Norge. Forsk. Fors. Landbr., 36, s. 53-59.
- Russel, J.C. 1939. The effect of surface cover on soil moisture losses by evaporation. - Soil Sci. Soc. Am. Proc., 4, s. 65-70.
- Russell, R.S. 1977. Plant Root Systems: Their function and interaction with the soil. - McGraw-Hill Book Co. (UK) Ltd. London.
- Russell, R.S. & Goss, M.J. 1974. Physical aspects of soil fertility. - The response of roots to mechanical impedance. - Neth. J. Agric. Sci., 22, s. 305-318.
- Rydberg, T. 1980. När kan plöjningsfri odling tillämpas? - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Konsulentavdelningens rapporter, Allmänt 23, s. 6:1-10.
- Rydberg, T. 1986. Markfysikaliska och markkemiska effekter av plöjningsfri odling. - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för jordbearbetning. Rapporter, 70.
- SMHI:s månadstidskrift för år 1985. "Väder och Vatten".
- Thunholm, B. 1985. Skörderesternas betydelse för marktemperaturen. - Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för jordbearbetning. Stencil.
- Unger, P.W. & McCalla, T.M. 1980. Conservation tillage systems. - Adv. Agron., 33, s. 1-58.



van Doren, D.M., Jr. 1967. Changes in seed environment due to tillage. - ASAE  
Publication Proc., 168, s. 5-9.

Wiersum, L.K. 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores to  
their penetration by roots. - Plant and Soil, 9, s. 75-85.

Wiklert, P. 1960. Studier av rotutveckling hos några nyttoväxter med särskild hänsyn till  
markstrukturen. - Grundförbättring, 13, s. 113-148.

Personligt meddelande från agr. E-L Gustavsson. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.  
Avd. för lantbrukets hydroteknik.

---

RAPPORTER FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

- | NR | ÅR   |  |
|----|------|--|
| 52 | 1977 | Arne Ljungars: Olika faktorerers betydelse för traktorernas jordpackningsverkan. Mätningar 1974-1976. 43 s.<br><i>Importance of different factors on soil compaction by tractors. Measurements in 1974-1976. 43 p.</i>   |
| 53 | 1977 | Inge Håkansson & József von Polgár: Modellförsök med såbäd-<br>dens funktion. II. Försök med skiktade och oskiktade såbäd-<br>dar. 22 s.<br><i>Model experiments into the function of the seedbed. II.</i><br><i>Experiments with stratified and unstratified seedbeds. 22p.</i> |
| 54 | 1978 | Ulf Olsson: Harvens konstruktion och harvningens utförande -<br>inverkan på bearbetningsresultatet. 28 s.<br><i>Influence of harrow construction and harrowing on the till-<br/>age result. 28 p.</i>  |
| 55 | 1978 | Olle Wallbom & Kjell Wretler: Förekomsten av några viktiga<br>växtskadegörare vid plöjningsfri odling. 29 s.<br><i>Occurrence of some important plant diseases on ploughless<br/>cereal cropping. 29 p.</i>  |
| 56 | 1978 | Åke Huhtapalo: Kombisådd av kväve och fosfor till vårsäd.<br>27 s.<br><i>Combi-drilling of nitrogen and phosphorus with spring cere-<br/>als. 27 p.</i>  |
| 57 | 1979 | Inge Håkansson: Försök med jordpackning vid hög axelbelast-<br>ning. Markundersökningar 1-2 år efter försökens anläggande.<br>15 s.<br><i>Experiments with soil compaction at high axle load. Soil<br/>investigations 1-2 years after the experimental compaction.</i><br>15 p.  |
| 58 | 1979 | Inge Håkansson & József von Polgár: Modellförsök med såbäd-<br>dens funktion. III. Försök med syrebrist i såbädden. 17 s.<br><i>Model experiments into the function of the seedbed. III.</i><br><i>Experiments with oxygen deficiency in the seedbed. 17 p.</i>                  |
| 59 | 1980 | Tomas Rydberg: Storparcellförsök med plöjningsfri odling,<br>1976-78. 21 s.<br><i>Big-plot experiments with ploughless farming, 1976-78. 21 p</i>  |
| 60 | 1980 | Working group on soil compaction by vehicles with high axle<br>load. Report of meeting in Uppsala 1980. 56 p.  |
| 61 | 1981 | Behovet av forskning och försök inom mark-teknikområdet. En<br>inventering utförd av samarbetskommittén för mark-teknik vid<br>Sveriges Lantbruksuniversitetets Lantbruksvetenskapliga fakul-<br>tet. Sekreterare: Lennart Henriksson. 46 s.                                     |
| 62 | 1981 | Skördevariationerna i växtodlingen - orsaker och motåtgärder<br>Seminarium anordnat av Samarbetskommittén för Mark-Teknik på<br>Ultuna 1981-04-09. 64 s.   |
| 63 | 1981 | Nils M. Nilsson: Plöjningsdjup och tiltbredder vid höstplöj-<br>ning. 30 s.<br><i>Ploughing depths and widths of furrow slice in autumns<br/>ploughing. 30 p.</i>  |

- 64 1982 Jan Cederlund: Kombinerad bearbetning och sådd (harvsådd). Examensarbete. 54 s.
- 65 1983 Göran Kritz: Såbäddar för vårstråsäd. En stickprovsundersökning. 187 s.  
*Physical conditions in cereal seedbeds. A sampling investigation in Swedish spring-sown fields. 187 p.*
- 66 1983 N.M. Nilsson: Höst- eller vårplöjning till vårsådd på kapillära jordar. Resultat från 12 fältförsök åren 1971-75. 57 s.  
*Autumn- or spring ploughing before spring sowing on capillary soils. Results from 12 field trials during 1971-1975. 57 p.*
- 
- 67 1984 Berth Mårtensson: Harvsådd - Preliminära försöksresultat 1979-83. 20 s.  
*Once-over sowing - Preliminary results of trials 1979-1983. 20 p.*
- 68 1984 Mats Edh: BANDSÅDD - en studie av olika billar för bandsådd. Examensarbete. 44 s.
- 69 1984 József von Polgár: Vältning efter vårsådd. 16 s.  
*Rolling after spring sowing. 16 p.*
- 70 1986 Tomas Rydberg: Markfysikaliska och markkemiska effekter av plöjningsfri odling i Sverige. 35 s.  
*Effects of ploughless tillage on soil physical and soil chemical properties in Sweden. 35 p.*
- 71 1986 Jordpackning: Skördepåverkan - Motåtgärder - Ekonomi. Rapport från NJF-seminarium i Sigtuna 28-30 oktober 1986. 187 s.  
*Soil compaction: Effects - Counter-measures - Economy. 187 p*
- 72 1986 Bo Thunholm: Termiska egenskaper i åkermark skattade på grundval av den årliga temperaturvariationen. 18 s.  
*Thermal properties of the subsoil estimated from annual temperature variations. 18 p.*
- 73 1987 Lennart Henriksson: Försök med olika harvar 1977-1985. 32 s.  
*Field trials with different harrows 1977-1985. 32 p.*
- 74 1987 Tomas Rydberg & Torbjörn Öckerman: Plöjningsfri odling - Dess inverkan på rotutveckling och evaporation. 52 s.  
*The effects of ploughless tillage on root development and evaporation. 52 p.*
- 75 1987 Hans Svensson: Jordpackningens inverkan på sockerbetans rotutveckling och skördens storlek. 31 s.  
*Effects of soil compaction on root development and yield of sugar beets. 31 p.*
- 76 1987 Tomas Rydberg: Studier i plöjningsfri odling i Sverige 1975-1986. 35 s.  
*Studies in ploughless tillage in Sweden 1975-1986. 35 p.*