



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

BIBLIOTEKET

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET

---

# SKORPBILDNING PÅ STRUKTURSVAGA JORDAR VID OLIKA BEVATTNINGSINTENSITET OCH DROPPSTORLEK

Ragnar Persson

---

INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK

STENCILTRYCK NR 103

UPPSALA 1977

ISBN 91-7088-774-8

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.	
1.	INLEDNING	1
2.	LITTERATURÖVERSIKT	1
2.1.	Igenslamning	1
2.1.1.	Egenskaper hos marken som påverkar igenslamning	2
2.1.2.	Vegetation och växtrester som skydd mot igenslamning	3
2.1.3.	Droppars nedslagsenergi	3
2.1.3.1.	Mätmetoder för droppstorlek	4
2.1.3.2.	Droppstorleksfördelning och dropphastighet vid bevattning	4
2.1.4.	Bevattningsintensitet	7
2.2.	Ytskorpa	9
2.2.1.	Metoder att karakterisera skorpa	9
2.2.2.	Skorpans hållfasthet och faktorer som påverkar denna	9
2.3.	Effekter på marken och grödan av igenslamning och skorpa- bildning	10
2.3.1.	Markens vattenhushållning	10
2.3.2.	Gasdiffusion	11
2.3.3.	Skorpa som ett mekaniskt hinder för grödans uppkomst	12
3.	UPPLÄGGNING OCH OMFATTNING AV EGNA UNDERSÖKNINGAR	14
4.	ODLINGSBETINGELSER	15
5.	METODER	16
5.1.	Sådd	16
5.2.	Avdunstning och ersättning av vatten	17
5.3.	Bevattning	18
5.3.1.	Bevattningsintensitet	18
5.3.2.	Droppstorlek	18
5.4.	Mätning av skorpans hållfasthet	18
5.4.1.	Lossdragning av knappålar	18
5.4.2.	Manuell penetrometer	19
5.4.3.	Självregistrerande penetrometer	20
5.5.	Droppstorleksmätningar	21
6.	RESULTAT	24
6.1.	Grödans uppkomst	24
6.2.	Bildmaterial och subjektiva graderingar	28
6.3.	Skorphaållfasthet	31
6.3.1.	Nålmetoden	31
6.3.2.	Självregistrerande penetrometer	33
7.	DISKUSSION	34
8.	SAMMANFATTNING	36
	LITTERATURFÖRTECKNING	37
	Bilagor: bil. 1. Meteorologiska observationer	
	bil. 2. Penetrationskurvor	
	bil. 3. Penetrationskurvor	

## 1. INLEDNING

Under 1970-talet har bevattningsmaskiner blivit allt vanligare i svenskt jordbruk. Dessa är utrustade med relativt stora spridare, varför bevattningen sker med en högre intensitet än vid bevattning med små spridare uppställda i förband. Det har antagits att stora spridare ger upphov till större droppar än små. Den högre intensiteten och de förmodade större dropparna från stora spridare har motiverat följande frågeställning: Är risken för strukturskador på matjorden, i form av igenslamning och påföljande yt-skorpa, större vid bevattning med bevattningsmaskin, än vid bevattning med små spridare?

För att belysa problemet gjordes vid Försöksavdelningen för hydroteknik under sommaren 1975 en orienterande undersökning i form av modellförsök. Man studerade där olika bevattningsintensitetens och droppstorleksfördelningars påverkan på jordens ytskikt, samt metoder att mäta denna påverkan. Det gjordes även mätningar av droppstorleksfördelningen vid två avstånd från en mindre bevattningsspridare.

Denna redogörelse avser att ge en orientering om igenslamning och yt-skorpa och mätmetoder för att därigenom ge underlag för framtida studier och försök inom ämnet.

Till försöksledare Waldemar Johansson och försöksledare Harry Linnér, som varit till stor hjälp med goda råd och anvisningar vid undersökningens genomförande, vill jag rikta ett varmt tack. Ett tack riktas också till de lantbrukare som ställt jord till förfogande för undersökningen.

## 2. LITTERATURÖVERSIKT

### 2.1. Igenslamning

Igenslamning innebär en nedbrytning av markytans aggregat till mindre enheter, och en omlagring av jordpartiklarna till ett mer eller mindre utjämnat, förtätat ytskikt där porositeten är lägre än i underliggande jordmaterial.

I en litteraturstudie pekar Heinonen (1965) på tre principiellt skilda orsaker till aggregatnedbrytning i samband med igenslamning:

1. En plötslig fuktning av jorden, vilket leder till att aggregat sprängs på grund av vattnets ojämna inträngning, eller på grund av att luft

stängs in.

2. Regndroppars mekaniska slag på en bar markyta.

3. Stående dagvatten.

Sor & Bertrand (1962) indelar regndropparnas mekaniska påverkan i direkta och indirekta effekter på markens fysikaliska egenskaper. Direkta effekter är: (a) att jordpartiklar slungas upp i luften vid droppnedslaget, (b) packning av markytan och (c) nedbrytning av aggregat vid själva droppnedslaget. Indirekta effekter är: (a) att jordpartiklar som slungats upp faller ner på ytan, där en liten del av dem följer med sjunkvattnet, vilket leder till förtätningar djupare ned i profilen, resten lägger sig som ett täcke på markytan eller följer med ytvattenavrinningen, (b) dispergering av aggregat, omlagring av jordpartiklarna och en förtätning av markytan, vilket minskar porositeten och vattenpermeabiliteten i marken. I de undersökningar de gjorde, fann de att den största dispergeringen och förtätningen skedde i markens översta millimeterskikt. Mindre omfattande förtätningar förekom ner till 3 cm djup.

Hur stor verkan ett regn eller en bevattning får på markytans struktur, beror på flera faktorer, som t.ex. jordart, jordens struktur och vattenhalt vid nederbördens början, förekomst av skyddande vegetation eller skörderes-ter, nederbördens mängd, intensitet och droppstorleksfördelning.

#### 2.1.1. Egenskaper hos marken som påverkar igenslamning

Igenslamning förekommer på nästan alla jordar. Ren grov sand och ren mull kan undantas (Heinonen 1965, Lemos & Lutz 1957). Framför allt drabbas jordar där aggregatstrukturen är instabil. Detta är ofta fallet på finmo- och mjällarika jordar samt lättleror. Aggregaten sönderfaller lättare ju lägre halten av kolloidalt material är (Wiklander 1976). Detta innebär att högre humushalt och högre halt finler gör jorden mer motståndskraftig mot igenslamning.

Hög halt utbytbar Na ökar riskerna för igenslamning (Wiklander 1976).

Schladerbusch & Czeratzki (1957) undersökte aggregatstorlekens betydelse för igenslamning. De visade att för nedbrytning av aggregat av en viss storlek, krävdes en viss nedslagsenergi som var betydligt större ju större aggregaten var.

I modellförsök har von Polgár (1977) funnit tendenser till, att igenslamning och skorpbildning orsakar en större minskning av antalet uppkomna plantor i en grövre såbädd än i en finbrukad.

Cernuda m.fl. (1954) liksom Lyles m.fl. (1974) undersökte hur jordens vattenhalt vid nederbördens början påverkade igenslamningen. Båda undersökningarna visade, att ju torrare aggregaten var före nederbörden, desto lättare slammade de sönder. Orsaken står att finna i att torra aggregat snabbt tar åt sig för mycket vatten, sväller och därigenom förlorar sin hållfasthet. Därför kan de lätt brytas ned av fallande droppar. Fuktiga aggregat, som tar upp vatten långsammare och jämnare, behåller sin stabilitet bättre. Ur detta faktum kan man dra den slutsatsen, att intensiv bevattning eller ett kraftigt regn lättast orsakar igenslamning på en bar, soltorkad markyta.

### 2.1.2. Vegetation och växtrester som skydd mot igenslamning

Flera författare påpekar att vegetation, växtrester eller något annat som täcker markytan, skyddar dem mot igenslamning, genom att förhindra alltför hård upptorkning av ytjorden (Cernuda m.fl. 1954), eller genom att minska nederbördens direkta mekaniska påverkan på markytan (Duley 1939).

### 2.1.3. Droppars nedslagsenergi

De förändringar av markytans struktur som en regnskur eller bevattning kan orsaka, är starkt beroende av den energimängd, i form av dropparnas rörelseenergi, som tillföres markytan vid droppnedslagen. Rörelseenergin ( $E$ ) hos en vattendroppe är en funktion av dess massa ( $m$ ) och dess hastighet ( $v$ ) enligt formeln

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Tillförd energi per ytenhet vid ett nederbördstillfälle fås genom att summerna de enskilda dropparnas nedslagsenergi och dividera med ytan (Laws 1940).

Droppars hastighet vid fritt fall är beroende av fallhöjd och droppstorlek. Efter en viss fallhöjd, som ökar med droppstorleken, uppnår en fallande droppe sin maximala hastighet eller sluthastighet (se fig. 4). Undersökningar för att bestämma olika droppstorlekars sluthastighet har gjorts av bl.a. Best (se Bean & Wells 1953), Gunn & Kinzer (se Ryan 1976), Laws (1940) och Ryan (1976). Horton (1940) beräknade sluthastigheten för vattendroppar med hjälp av Stoke's lag.

Droppstorleken är alltså av avgörande betydelse för den tillförda energimängden, eftersom den påverkar även dropparnas hastighet.

Det räcker dock inte att enbart studera mängden tillförd energi för att belysa fallande droppars skadeverkan på markstrukturen. Horton (1940) gör följande jämförelse för att framhålla att effekten av en viss energimängd, tillförd som små droppar, inte har lika stor verkan som om samma energimängd

tillförs som stora droppar: Utsätt en hårt packad jordklump (aggregat) för en mängd små lätta slag med en penna, eller slå några rejäla slag med en hammare. I båda fallen skall samma energimängd tillföras. Effekten av pennslagen blir obetydlig medan hammerslagen bryter ned jordklumpen totalt.

Droppar som faller genom luften kan inte bli hur stora som helst. Blanchard (se Bean & Wells 1953) har visat att vattendroppar med en diameter större än 5,4 mm delar sig om de faller tillräckligt långt, medan droppar mindre än 4,6 mm är helt stabila. Droppar i storlek däremellan går antingen sönder eller förblir stabila. Med diameter avses här och i fortsättningen diametern hos en tänkt sfär, som har samma volym eller massa som resp. droppe. Angående droppars form, se Ryan (1976).

Ryan (1976) åstadkom i vindtunnel vattendroppar med en diameter upp till 9,1 mm. De största vattendroppar som observerats i atmosfären är i storleksordningen 5 mm diameter enligt samme författare.

#### 2.1.3.1. Mätmetoder för droppstorlek

Olika metoder att mäta droppars storlek har utvecklats sedan slutet av 1800-talet. Då kom den tyske meteorologen Wiesner (1895) på, att man kunde låta en droppe falla på ett läskpapper eller filterpapper, och därefter mäta den på papperet bildade fläckens storlek. Genom att väga papperet före och efter kunde man finna en relation mellan droppens och fläckens storlek. Filterpappersmetoden har dock sina svagheter, då fläckens storlek påverkas av droppens hastighet och infallsvinkel samt av papperets egenskaper. Metoden har modifierats och använts av flera forskare, bl.a. Levine (1952) och Merrington & Richardson (1947).

Bentley (1904) lät droppar falla i siktat mjöl. Mjölet bildade tillsammans med vattendropparna små degkulor, vars storlek, enligt Bentley, stämde väl överens med vattendropparnas. "Degpellett-metoden" har varit flitigt använd av t.ex. Carter m.fl. (1974), Kohl (1974), Laws (1940) och Schleusener & Kidder (1959).

Mätningar av droppstorlek fotografiskt har gjorts av Ryan (1976) och Schlanderbusch & Czeratzki (1957).

#### 2.1.3.2. Droppstorleksfördelning och dropphastighet vid bevattning

En vattenstråles upplösning i droppar av olika storlekar har studerats av Merrington & Richardson (1947). De visade att droppstorleken är omvänt proportionell mot strålens relativa hastighet till den omgivande luften. I strålens centrum, där luften dras med av strålen, blir den relativa hastigheten låg och större droppar kan förekomma. I utkanten av strålen blir strålens

relativa hastighet hög och små droppar bildas.

Kohl (1974) undersökte droppstorleksfördelningen vid olika avstånd från bevattningsspridare med olika tryck och munstycke. Diagrammet i fig. 1 från Kohls undersökningar visar att små droppar faller nära spridaren, medan stora droppar faller långt ifrån. Förklaringen är att små droppar har lägre rörelseenergi och därför påverkas av luftmotståndet mer än stora droppar. Droppstorleksfördelningen hos en bevattningsspridare är därför av stor betydelse för dess spridningsbild och kastlängd.

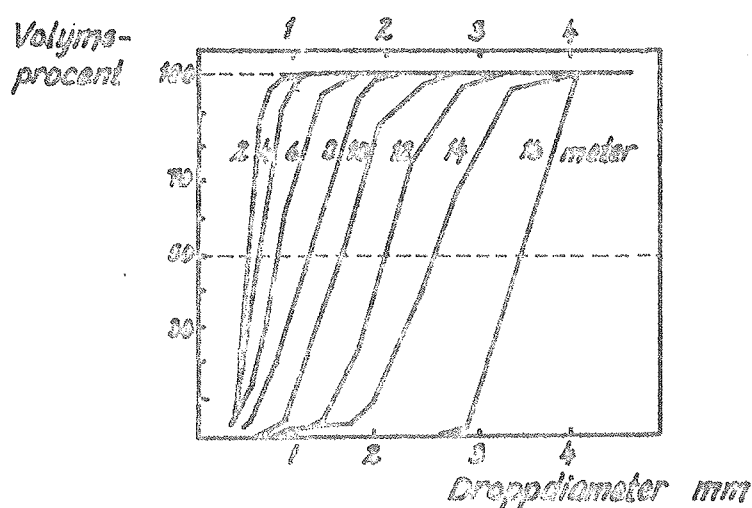


Fig. 1. Summationskurvor för droppstorleksfördelning vid olika avstånd från en bevattningsspridare. (Endast från spridarens huvudstråle.) Munstycksdiameter: 3,97 mm. Tryck: 40 N/cm<sup>2</sup> (4,08 kp/cm<sup>2</sup>). Källa: Kohl 1974.

Tryckets och munstycksstorlekens betydelse för dropparnas storlek kan utläsas ur diagrammen i fig. 2 och fig. 3.

Anmärkningsvärt stora droppar, upp mot 7 mm diameter, bildas tydligen vid låga tryck. Dessa stora droppar har inte uppnått tillräckligt hög hastighet för att sönderdelas.

Vattenstrålen från en mindre bevattningsspridare når inte tillräckligt högt för att de större dropparna skall uppnå sin möjliga vertikala sluthastighet. Laws (1941) anger följande fallhöjder för att vattendroppar skall uppnå 95 % av sin sluthastighet.

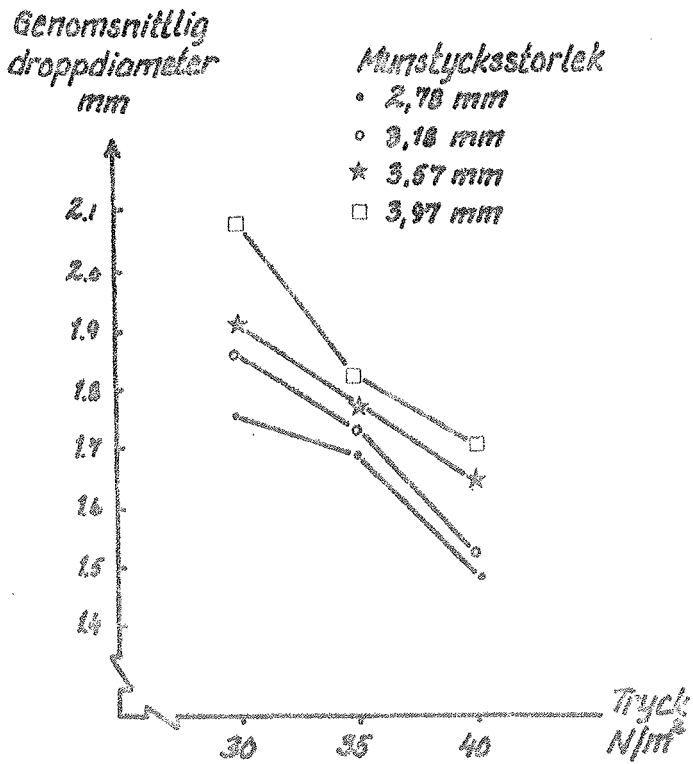


Fig. 2. Dropparnas medeldiameter som funktion av trycket vid olika munstycksstorlekar. Källa: Kohl 1974.  $1 \text{ N/cm}^2 = 10^4 \text{ Pa} \approx 0,104 \text{ kp/cm}^2$ .

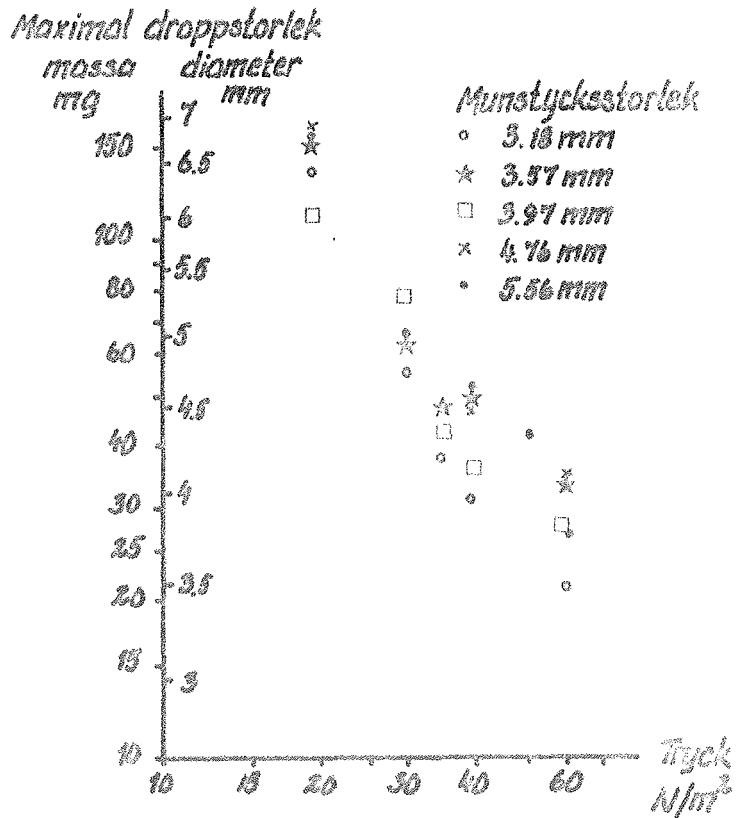


Fig. 3. Maximal droppstorlek från olika munstycken vid olika tryck. Källa: Kohl 1974.

Droppdiameter mm	Fallhöjd m
1	2.2
2	5.0
3	7.2
4	7.8
5	7.6
6	7.2

Fig. 4 visar dropparnas nedslagshastighet uppmätta från en bevattnings-spridare i jämförelse med sluthastigheten vid fritt fall.



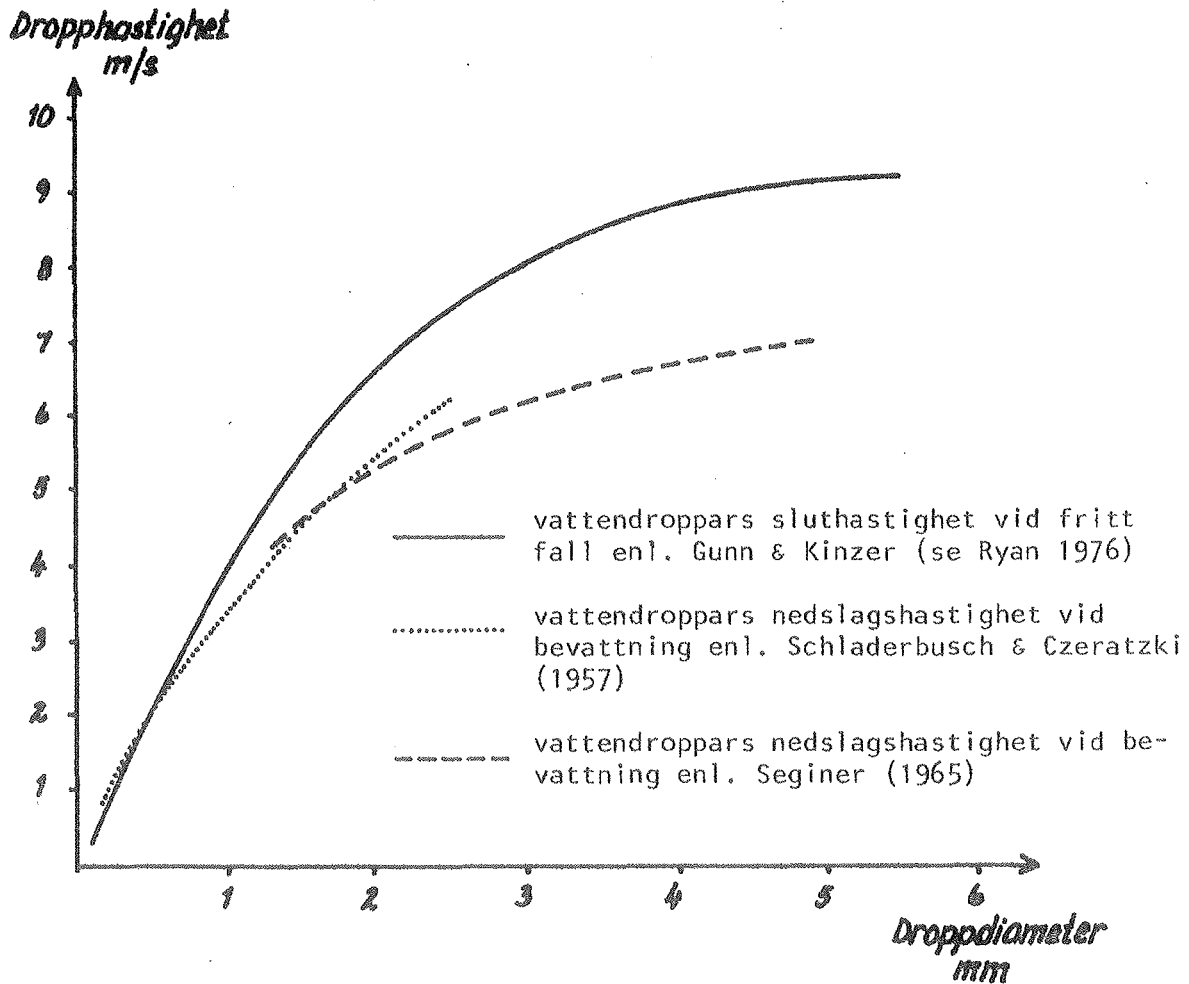


Fig. 4. Vattendroppars hastighet vid fritt fall resp. från en bevattningsspridare.

#### 2.1.4. Bevattningsintensitet

Olika bevattningssystem erbjuder olika möjligheter till bevattningsintensitet. Små spridare har en medelintensitet på 5-10 mm/h, stora stationära spridare ger 10-20 mm/h och bevattningsmaskiner ger 10-15 mm/h. Sker bevattningen under blåsiga förhållanden störs spridningsbilden och man får räkna med högre genomsnittlig intensitet. Vid stationära system varierar intensiteten med förbandstäthet, arbetstryck och munstycksstorlek. Bevattningsmaskinernas intensitet kan endast regleras med munstycksstorlek och tryck.

De bevattningssystem som idag används i Sverige har i regel ganska långsamt roterande spridare (hela varv eller i sektor), vilket gör att bevattning inte sker över hela arbetsytan på en gång. Vid bedömning av riskerna för skador på markens ytstruktur på grund av höga intensiteter, bör man förutom till medelintensiteten även ta hänsyn till den momentana intensiteten, dvs. intensiteten under den tid då vattenstrålen träffar en bestämd punkt. Den momentana intensiteten är för små roterande spridare 50-90 gånger så stor som medelintensiteten (Schleusener & Kidder 1960).

Undersökningar för att belysa bevattningsintensitetens betydelse för igen-  
slamning och skorpbildning har gjorts av bl.a. Busch m.fl. (1973). De jämförde skorpans hållfasthet efter bevattning med 3,8 resp. 10,9 mm/h och fann att den högre intensiteten orsakade hårdare skorpa.

Holder & Brown (1974) jämförde intensiteterna 13, 25 och 51 mm/h. I deras undersökning orsakade 25 mm/h en hårdare skorpa än 13 eller 51 mm/h.

Mantell & Goldberg (1966) mätte på laboratorium hållfastheten i skorpor som bildats efter olika tillförselintensitet av droppar med enhetlig diameter 2,59 mm. Resultaten framgår av fig. 5.

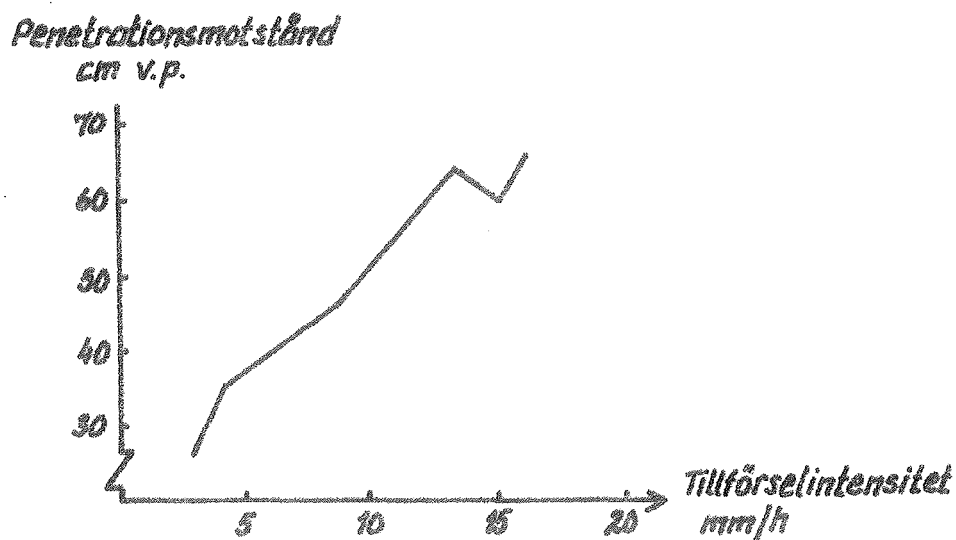


Fig. 5. Effekt av vattnets tillförselintensitet på skorphållfastheten mätt med penetrometer ned till 0,5 cm djup. Källa: Mantell & Goldberg (1966).

Keller. (1963) fann vid laboratoriestudier att en sättning i jorden in-  
träffade vid ca 60 volymsprocents vattenmättnad. Denna vattenmättnad svarar mot en viss 'kritisk' tillförselintensitet, vilken varierar med bl.a. jord-  
art och dräneringsförhållanden.

Bevattningsintensiteter som överstiger infiltrationskapaciteten orsakar ytvatten. Ytvatten intill ett visst djup ökar den igenslammande effekten av vattendroppar. Palmer (1965) visade att detta djup varierade med storleken av de infallande dropparna. Maximal effekt på jorden erhöles då vattendjupet var ungefär lika stort som diametern på de infallande dropparna. Vid 2 cm vattendjup var dropparnas verkan lika stor som då dropparna föll på jord utan ytvatten.

## 2.2. Ytskorpa

Ytskorpa används vanligtvis som benämning på hårda lager som bildats på markytan av naturliga processer. I denna uppsats begränsas orden ytskorpa eller skorpa till att innefatta hårda, förtätade ytlager som orsakats av igenslamning vid regn eller bevattning och efterföljande upptorkning.

### 2.2.1. Metoder att karakterisera skorpa

En ytskorpa kan karakteriseras på olika sätt. Här följer endast en uppräkningslista med hänvisningar till litteraturen:

- mekanisk hållfasthet, mätes med penetrometer eller dylikt. (Arndt 1965), (Busch m.fl. 1973), (Hanks 1960), (Heinonen 1965), (Mantell & Goldberg 1966), (Richards 1954), (Taylor 1962).
- vattengenomsläpplighet el. infiltrationskapacitet. (Bean & Wells 1953), (Horton 1940).
- luftgenomsläpplighet (gasdiffusion). (Domby & Kohnke 1956), (Mantell & Goldberg 1966).
- volymvikt. (Lemos & Lutz 1957).
- texturen i skorpan jämförd med i opåverkad jord. (Lemos & Lutz 1957).
- frekvensen och vidden av sprickor. (Arndt 1965).
- grödans groning och uppkomst. (Taylor 1962).

### 2.2.2. Skorpans hållfasthet och faktorer som påverkar denna

Skorpans hårdhet eller mekaniska hållfasthet beror på igenslamningsgrad, upptorkningsförlopp, aktuell vattenhalt, jordart, lertyp, organiskt material och volymvikt m.m.

Lemos & Lutz (1957) fann vid laboratorieundersökningar, att långsam upptorkning gav en hårdare skorpa, eftersom sprickor och svaghetszoner bildades i mindre utsträckning än vid snabb upptorkning. Upprepad fuktning och torkning resulterade i svagare skorpa. Beträffande jordarter förelåg för vissa jordar samband mellan lerhalt och skorpan hållfasthet, för andra jordar gav innehållet av silt (0,05-0,002 mm, ungefär mjäla+finmo), ler+silt eller ler+silt+grovmått bättre samband. Jordar med ler av montmorillonittyp fick hårdare skorpa än jordar med kaolinitler.

Liknande laboratorieundersökningar har gjorts av Hanks (1960). Han visade bl.a. att en torr skorpa hade större hållfasthet än en fuktig. Vidare fann han att jord som var lufttorr före igenslamningen fick en hårdare skorpa än jord som var fuktad kapillärt underifrån. Hanks undersökte också humushaltens,

lerhaltens och volymviktens betydelse för skorpållfastheten. Högre halt organiskt material gav svagare skorpa medan högre lerhalt och högre volymvikt gav en hårdare skorpa.

Heinonen (1965) gjorde mätningar i fält med penetrometer på skorpa bildad efter ett slagregn. Han fann inga skillnader i penetrationsmotstånd vid en variation i lerhalt från 21 till 48 procent. Heinonen förklarar detta, mot bakgrund av Lemos & Lutz (1957) och Hanks (1960) resultat, med att den lägre lerhalten hade lett till en fullständigare och mer djuggående igenslamning, medan den lett till mindre bindningsstyrka i skorpan. Här hade alltså lerets roll för sammanhållandet av aggregaten vid igenslamningen haft lika stor betydelse som den cementerade verkan leret haft i skorpan.

### 2.3. Effekter på marken och grödan av igenslamning och skorpbildning

#### 2.3.1. Markens vattenhushållning

Igenslamning minskar infiltrationskapaciteten hos marken genom att jämna ut och täppa till ett luckert ytlager. Därmed ökar riskerna för ytvattenavrinning med vattenförlust, nitrattransport och erosion som följd (Heinonen 1975).

Forskare som Duley (1939), Horton (1940) och Levine (1952) har studerat igenslamningens verkan på infiltrationen. Bean & Wells (1953) har efter bearbetning av Levines data framställt diagram (fig. 6 och 7) för att påvisa olika droppstorlekars effekter på infiltrationen.

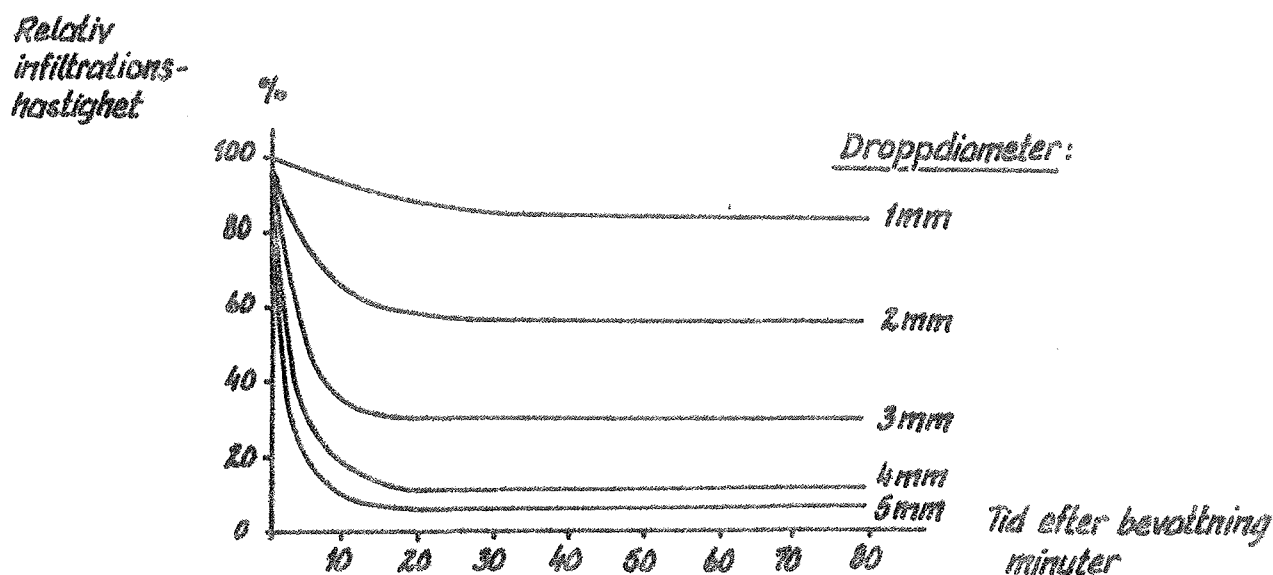


Fig. 6. Relativ infiltrationshastighet hos en styv jord mätt efter bevattning (12,7 mm under 1 timme) med olika stora droppar. Källa: Bean & Wells (1953).

Relativ reducering  
av infiltrations-  
hastigheten

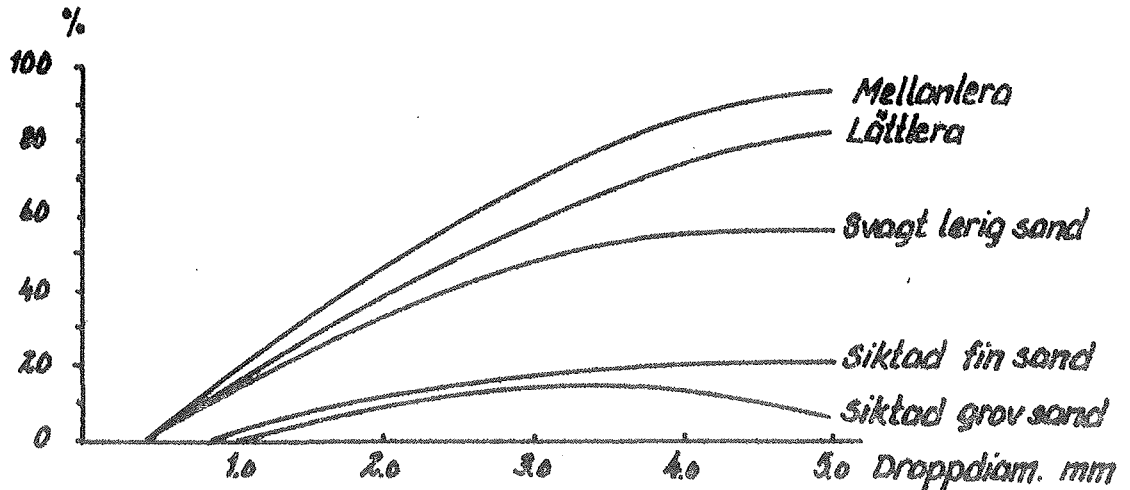


Fig. 7. Minskning av infiltrationshastigheten på olika jordar mätt efter bevattning med olika droppstorlekar. (Tillförsel: 12,7 mm under en timme.) Källa: Bean & Wells (1953).

En ytskorpas effekt på avdunstningen från marken är inte helt entydig. En obruten skorpa på lucker jord kan minska avdunstningen, medan om hela matjordslagret sjunkit ihop till en homogen massa kan avdunstningen öka p.g.a. kapillär upptransport (Heinonen 1975).

Ett igenslammat grovt ytlager får ofta större avdunstning än ett finbrukat, igenslammat ytlager (Heinonen 1975).

### 2.3.2. Gasdiffusion

Igenslamningens direkta följder är hämmad luftväxling och syrebrist i jorden. Luftgenomsläppligheten i ett igenslammat ytlager är obefintlig så länge det är helt vattenmättat. Det leder till att syreförrådet i marken snabbt förbrukas, speciellt vid varm väderlek, vilket förhindrar groning, lätt orsakar förruttelse och kanske orsakar kväveförluster genom denitrifikation (Heinonen 1975).

Då skorpan torkat kan den inte längre hindra luftväxling. Dobby & Kohnke (1956) visade att endast mycket våta, igenslammade ytlager minskar diffusionshastigheten för gaser (se fig. 8).

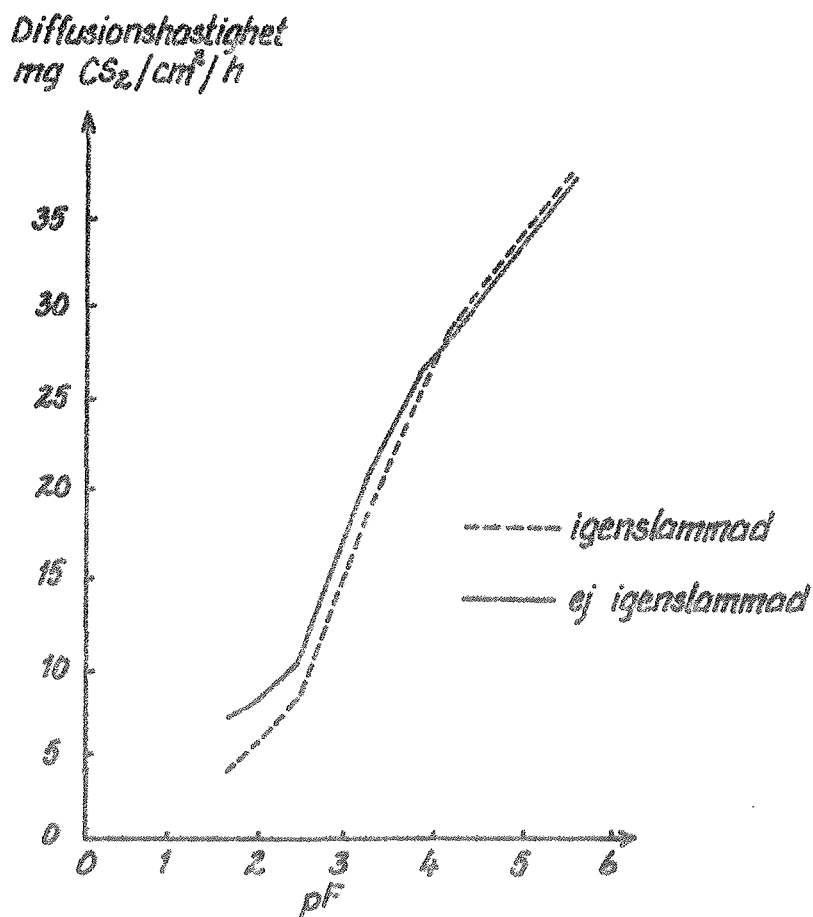


Fig. 8. Effekten av olika vattenavförande tryck på diffusionshastigheten genom jord med och utan igenstämrad ytlager. Källa: Domby & Kohnke (1956).

### 2.3.3. Skorpa som ett mekaniskt hinder för grödans uppkomst

Risken för skördesänkning p.g.a. ytskorpa är störst då skorpbildningen sker mellan sådd och uppkomst. Hinner skorpan torka och bli hård innan groddarna hunnit igenom kan den medföra att plantorna ej kommer upp eller blir försvagade.

Arndt (1964) studerade groddars "beteende" då de mötte mekaniska hinder samt faktorer som påverkade deras uppkomst genom en skorpa. Uppkomsten genom en skorpa fann han bero på följande faktorer:

- I Vattenhalten i skorpan
- II Jordarten - påverkar frekvensen och vidden av sprickor liksom skorpan hållfasthet
- III Plantornas storlek - varierar med art och sort
- IV Sådjup
- V Frekvens av och vidden hos sprickor i skorpan.

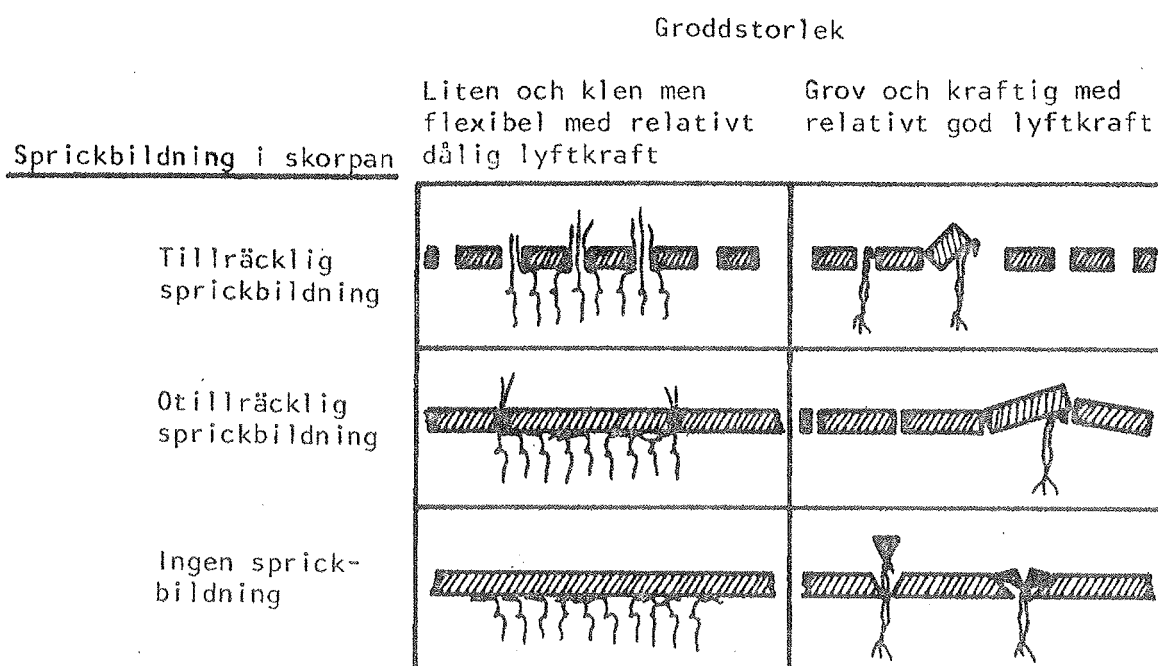


Fig. 9. Uppkomst vid olika kombinationer av groddstorlek och sprickfrekvens. Enligt Arndt (1965).

Exempel på plantor vars uppkomst hindrats av en ytskorpa finns på sid. 30, bild 4.

Groddarna kan genom att transportera vatten från roten till skottspetsen, s.k. guttation, mjuka upp skorpan och därigenom öka sina möjligheter att komma upp (Heinonen 1975), (Lemos & Lutz 1957), (Taylor 1962).

Genom att så i rader underlättar man för grödan att forcera skorpan, genom att brottsanvisningar lätt bildas då plantorna gemensamt bearbetar skorpan längs en linje.

Jordens hållfasthet under skorpan har betydelse för plantornas möjligheter att "ta spjörn" för att forcera ytskorpan. Får inte rötterna fäste riktas groddarnas skjutkraft nedåt (Heinonen 1975).

Syrebrist eller vattenbrist minskar groddarnas skjutkraft genom en ytskorpa (Heinonen 1975).

Att med vält eller harv göra en skorpobrytning kan ibland vara nödvändigt för att klara uppkomsten. Den bör då utföras snarast möjligt efter markytans upptorkning (Heinonen 1975). Har man tillgång till bevattningsanläggning finns möjlighet att trygga uppkomsten genom att vattna och därigenom undvika att skorpan hårdnar för mycket (Heinonen 1977).

### 3. UPPLÄGGNING OCH OMFATTNING AV EGNA UNDERSÖKNINGAR

Avsikten med den i de följande avsnitten beskrivna undersökningen var att ge en orientering om hur olika bevattningsintensiteter och droppstorlekar påverkar ytstrukturen på struktur känsliga jordar. Dessutom avsåg undersökningen att orientera om några enkla metoder att mäta skorpans hållfasthet och olika droppstorlekar.

Undersökningen har utförts i form av ett modellförsök med i stort sett samma utrustning som användes i von Polgárs (1977) såbäddsförsök. I plastlådor med sex olika jordar såddes korn. Vid tre olika tidpunkter efter sådd bevattades försöket med tre olika bevattningsintensiteter, 5, 10 och 20 mm/h, och med två olika droppstorleksfördelningar. Totalt tillfördes vid bevattning 20 mm nederbörd.

Följande bevattningstidpunkter ingick i försöket:

Bevattning vid 50 % uppkomst (Omgång I)

Bevattning 14 dagar efter uppkomst (Omgång II)

Bevattning omedelbart efter sådd (Omgång III)

De sex jordarna var (matjord 0-20 cm):

Moig lättlera från Spånga, Skattekärr, S-län

Mjällig lättlera från Stora Hamrum, R-län

Lerig mo från Stora Fossala, E-län

Lätt mellanlera från Skottsila, Knivsta, C-län (C1)

Lätt mellanlera från Näs, Möklinta, U-län

Lätt mellanlera från Grän, Långtora, C-län (C2)

Som förkortning för jordarna användes respektive länsbokstav (följd av 1 eller 2 för jordarna från C län).

Tabell 1. Mekanisk sammansättning för de sex jordarna.

	Sand	Mo	Mjäla	Ler	Mull	Jordarts- beteckning
S	11,6	43,3	22,5	19,0	3,6	mmh moLL
R	6,6	23,3	41,8	25,5	2,8	mmh mjLL
E	16,6	49,0	18,5	11,3	2,6	mmh I Mo
C <sub>1</sub>	5,5	24,0	33,3	34,2	3,2	mmh LML
U	4,1	9,0	49,5	33,0	4,4	mmh LML
C <sub>2</sub>	2,6	27,4	31,3	35,9	2,9	mmh LML



Tabell 2. Markfysikaliska data för de sex jordarna.

Prov- bet.	Mätningar gjorda i packade (0,5 kp/cm <sup>2</sup> ) cylindrar. Medelvärde från två prov.							Spec. vikt	Torr vol. vikt, g/cm <sup>3</sup>	Vattenhalt vid vissningsgränsen. Beräknade värden från mekanisk analys. Viktsprocent
	Mtrl- vol. %	Por- vol. %	Vattenhalt i vol-procent vid ett vattenavförande tryck i							
			0,05	0,5	1,0	2,0	6,0			
S	49,6	50,4	46,6	43,4	41,9	36,0	29,6	2,53	1,25	8,6
R	44,7	55,3	47,1	41,5	37,8	34,7	31,6	2,61	1,17	11,8
E	52,0	48,0	43,6	41,4	34,3	27,8	22,0	2,65	1,38	6,1
C <sub>1</sub>	40,9	59,1	51,3	38,4	35,2	30,5	29,6	2,69	1,09	13,9
U	38,1	61,9	51,4	38,4	34,0	32,3	30,4	2,60	0,99	14,9
C <sub>2</sub>	41,2	58,8	50,3	42,2	34,4	31,4	29,2	2,63	1,09	14,4

Antal försöksled: 6 jordar x 3 bevattningstidpunkter x 3 bevattningsintensiteter x 2 droppstorlekar = 108 försöksled.

Någon upprepning av försöket gjordes inte.

Uppkomsten i de olika försöksleden studerades genom planträkningar. Försök att mäta skorpan hållfasthet gjordes med tre olika metoder.

Två enkla metoder att studera droppstorleksfördelningen från en bevattningsspridare provades. Provtagning skedde för de droppstorleksfördelningar som användes i försöket.

#### 4. ODLINGSBETINGELSER

Försöket genomfördes under tiden 10 juli till 18 augusti 1975 på Ultuna.

Odlingen skedde under ett genomskinligt plasttak för att förhindra att regn skulle spoliera försöket. En översiktsbild över försöket finns på sid. 30 (bild 6).

I bilaga 1 finns uppgifter om temperatur, luftfuktighet och potentiell avdunstning för den aktuella perioden.

Tabell 3. Översikt över tidpunkter för sådd, bevattning, mätningar m.m.

Datum		Datum	
<u>Omgång I</u>		<u>Omgång II</u>	
10/7	sådd	10/7	sådd
15/7	50 % av grödan uppe i genomsnitt. bevattning	15/7	50 % av grödan uppe i genomsnitt
		21/7	vattentillförsel motsvarande 6 mm enligt 5.2.
24/7	mätning av skorpan håll- fasthet enligt 5.4.1.		
25/7	mätning av skorpan håll- fasthet enligt 5.4.2.	25/7	vattentillförsel motsvarande 5 mm enligt 5.2.
<u>Omgång III</u>			
28/7	sådd		
29/7	bevattning	29/7	bevattning
		31/7	isättning av provcylindrar
6/8	vattentillförsel motsvarande 7 mm enligt 5.2.		
		7/8	upptagning av provcylindrar
11/8	mätning av skorpan håll- fasthet enligt 5.4.1.		
12/8	isättning av provcylindrar		
18/8	upptagning av provcylindrar		

## 5. METODER

### 5.1. Sådd

Plastbackar med måtten 54,5 x 36,7 x 11 cm utgjorde odlingskärl. I dessa lades först ett 5 cm tjockt molager som "såbotten". Detta fuktades med 1,0 liter vatten för omgång III och med 2,0 liter för omgång I och II. Den mindre mängden i omgång III motiveras av att bevattning följde omedelbart efter sådden.

På det fuktade molagret placerades i 4 cm kvadratförband 104 st. kärnor av korn (Sv. Hellas, 98 % grobarhet). Kärnorna såddes alltså inte i sårader som under praktiska förhållanden, utan placerades en och en med 4 cm avstånd. Sådden utfördes med hjälp av en kraftig dammsugare utrustad med en sugklocka med 104 små hål.

Matjorden, siktad till två aggregatstorlekar, 0-4 mm och 4-8 mm, lades där-  
 efter i 3 respektive 2 cm tjocka skikt ovanpå kärnorna (se fig. 10).

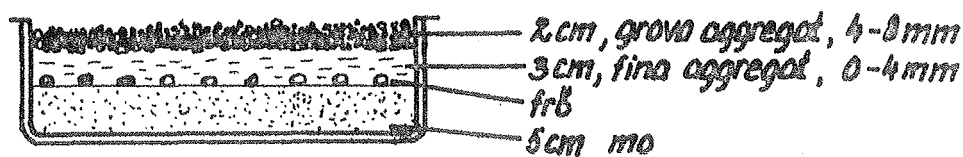
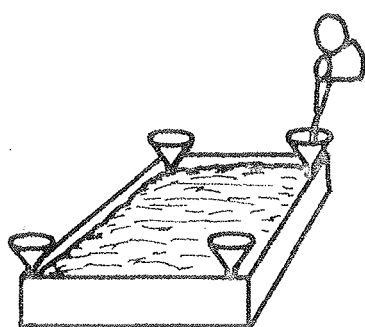


Fig. 10. Uppbyggnad av såbädd.

### 5.2. Avdunstning och ersättning av vatten

För att kontrollera att grödan inte led vattenbrist vägdes två odlings-  
 backar ur varje omgång varje dag. Efter att viktnedgången indikerat att  
 alltför mycket vatten avdunstat, tillfördes en vattenmängd som ungefär mot-  
 svarade viktnedgången. För att inte störa strukturen i matjorden tillför-  
 des vattnet i omgång II med hjälp av trattar nedstuckna i odlingsbackens  
 fyra hörn (se fig. 11a). I omgång III hålldes vattnet mellan odlingsbackens  
 långsida och en tunn skiva som sköts ned innanför backens långsida (fig.  
 11b). Den senare metoden var betydligt enklare och snabbare att använda.

(a)



(b)

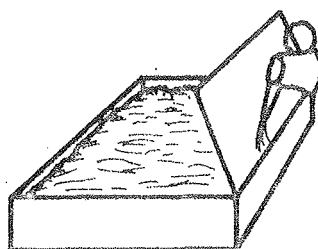


Fig. 11. Alternativa metoder för tillförsel av vatten utan att strukturen  
 i ytjorden påverkas.

Omgång II tillfördes 1,2 liter (motsv. 6 mm) 1 vecka före försöksbevatt-  
 ning och 1,0 liter (5 mm) 3 dagar före försöksbevattning. Omgång III till-  
 fördes 1,4 liter (7 mm) 8 dagar efter försöksbevattning. Omgång I krävde  
 ingen extra vattentillförsel.

### 5.3. Bevattning

Försöksbevattningen utfördes med vanliga sektorspridare (Perrot ZA 30 W) med munstycksdiametern 3,8 mm.

Bevattningen ägde rum på en gräsplan ett stycke från plasttaket. Vid förflyttningen av backarna efter bevattning orsakade hanteringen, trots att största försiktighet iakttogs, ganska djupgående sprickor i jorden. Plastbackarna var inte tillräckligt stabila, utan botten "säckade" ner något då backarna lyftes. Då backarna åter sattes ned, och botten återgick till sitt ursprungsläge, sprack jorden.

#### 5.3.1. Bevattningsintensitet

För att erhålla de olika medelintensiteterna, 5, 10 och 20 mm/h, användes 1, 2 resp. 3 spridare samtidigt. Spridningssektorn justerades så att intensiteten kunde ställas in med ett maximalt fel på 10 %. Intensiteten och bevattningsmängden mättes med vanliga nederbördsräknare.

Arrangemanget var mycket vindkänsligt, varför små justeringar av spridningssektorn fick göras under bevattningens gång.

Bevattningen avslutades då 20 mm nederbörd tillförts.

#### 5.3.2. Droppstorlek

För att erhålla olika droppstorlekar placerades odlingsbackarna på två olika avstånd från spridarna (jfr 2.1.3.2.).

En fördelning av små droppar erhöles vid 4,5 m avstånd från spridarna, och en fördelning av stora droppar vid 10 m avstånd. Smärre justeringar av det senare avståndet gjordes på grund av vindförhållandena vid bevattningstillfället.

Mätningar av droppstorleksfördelningen vid respektive avstånd gjordes enligt 5.5. Resultatet från dessa mätningar redovisas på sid. 22 och 23, fig. 16 och 17.

### 5.4. Mätning av skorpan hållfasthet

Försök att mäta skorpan hållfasthet gjordes med tre olika metoder. Alla mätningar gjordes sedan skorpan blivit torr (enligt subjektiv bedömning).

#### 5.4.1. Lossdragning av knappålar

Denna metod utvecklades för att möjliggöra mätning av skorpan hållfasthet

vid påverkan underifrån. Följande teknik tillämpades:

Spetsen på ett antal knappnålar med glashuvuden kröktes. Före försöksbevattningen av odlingsbackarna placerades 12 nålar med huvudena 1,5 cm under jordytan och med den krökta spetsen ovanför (se fig. 12).

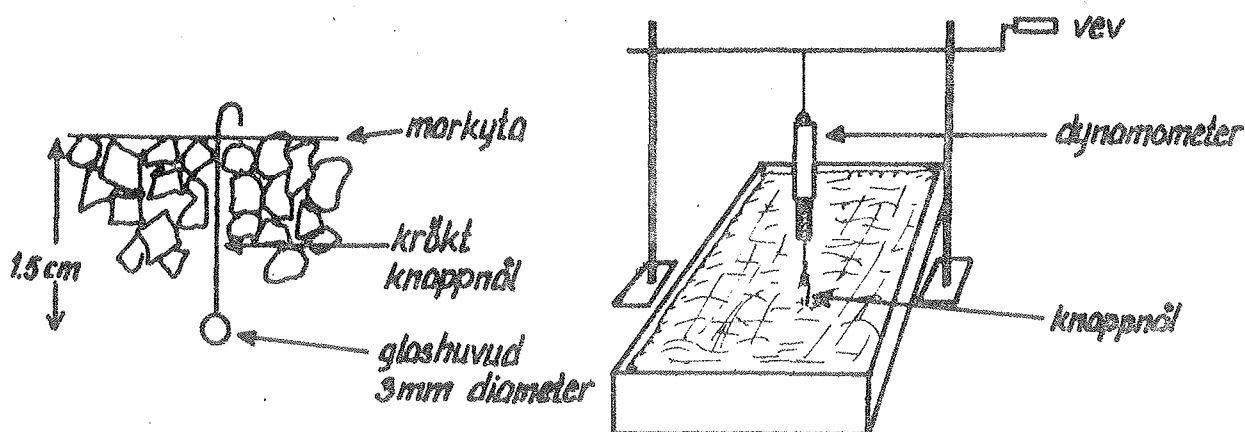


Fig. 12. Placering av knappnål. Fig. 13. Anordning för mätning av erforderlig lyftkraft.

Då mätning skulle ske kopplades en dynamometer i nålens böjda spets. Dynamometern hissades långsamt uppåt med hjälp av ett vevstativ varvid dynamometerens maximala utslag avlästes (fig. 13).

Mätningar med denna metod utfördes i omgång I och i omgång III. Genomförandet var ganska enkelt och inte lika tidskrävande som de mätningar som gjordes med den självregistrerande penetrometern (beskrivs i 5.4.3.).

Nålhuvudernas placering i djupled varierade en del beroende på hur jorden reagerat för de olika behandlingarna i försöket.

En del nålar befann sig vid mätningarna i eller mycket nära sprickor i skorpan. Mätvärdena från dessa har ej medtagits vid resultatbearbetningen.

#### 5.4.2. Manuell penetrometer

Det för fältbruk enkla och vanliga instrumentet för mätning av markens deformationsmotstånd är proctometern eller penetrometern (fig. 14).

Penetrometern pressas försiktigt med handkraft mot jorden, varefter penetrationsmotståndet kan läsas av vid gummiringen som löper på staven.

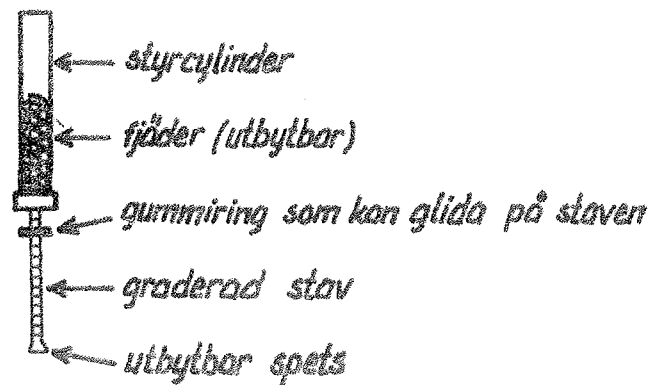


Fig. 14. Penetrometer i genomskärning.

Försök att mäta skorpan med en dylik "manuell" penetrometer gjordes i omgång I. Sexton mätningar gjordes i varje försöksled. Sprickor undveks i största möjliga utsträckning.

De erhållna mätvärdena varierade mycket, och de verkade inte alls beskriva skorpan hållfasthet utan snarare bero på kontakten mellan skorpan och underliggande fast jord, samt på mätpunktens avstånd till närmaste spricka.

Kombinationer av olika penetrationsspetsar och fjädrar provades, men resultaten var ändå lika nedslående.

Metoden lämpar sig nog endast för fältbruk, där betydligt fler mätningar kan göras i varje försöksled.

Då resultaten från dessa mätningar i omgång I inte visade några tendenser alls, utan enbart en stor variation, utelämnas de från resultatredovisningen. Några mätningar i omgång II och III gjordes ej.

#### 5.4.3. Självregistrerande penetrometer

I omgång II och III gjordes mätningar av skorpan hållfasthet med en apparat som, med konstant hastighet, pressade fyra penetrationsspetsar ned genom ytskorpan. Apparaten var kopplad till en skrivare som kontinuerligt registrerade den kraft som erfordrades, för att driva spetsarna genom skorpan. Penetrationsspetsarnas utseende och inbördes placering framgår av fig. 15.

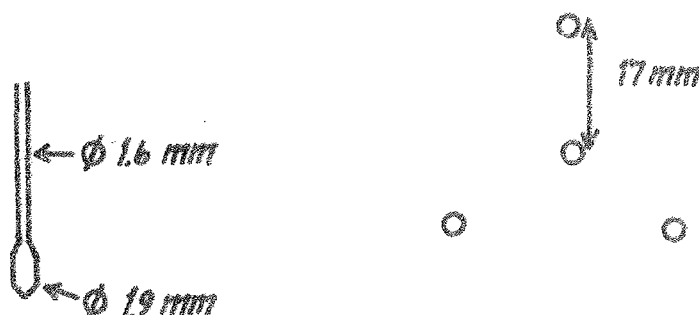


Fig. 15. Penetrationsspetsarnas utseende och inbördes placering.

Mätningarna gjordes ned till åtta millimeters djup.

Tyvänn kunde inte, av utrymmesskäl, en hel odlingsback placeras i apparaten, utan s.k. "ostörda" jordprov togs ut med hjälp av stålcyllindrar (höjd: 50 mm, diameter: 72 mm). Två jordprov per försöksled togs.

I omgång II pressades cylindrarna ned i jorden medan den ännu var fuktig (dagen efter bevattning). Cylindrarna i omgång III kunde ej sättas i, förrän mätningarna med knappnålar (5.4.1.) hade slutförts. Isättningen, speciellt i omgång III där skorpan var torr, och uttagningen av cylindrarna kan ha orsakat mindre sprickor i ytskorpan. Några direkt synliga förändringar blev det dock endast längs kanterna på proverna. Dessa blev ibland lite "naggade", vilket kan ha gett upphov till brottsanvisningar. Uttagningen underlättades av att cylindrarnas underkant kom att ligga precis vid gränsen till moskiktet. Cylindrarna försågs med plastlock i båda ändar före transporten till laboratoriet.

Om man, istället för att ta ut jordprov som ovan, hade bevattnat mindre kärl med jord på motsvarande sätt som i försöket, och sedan kunnat göra mätningar direkt i dessa, hade man troligen fått säkrare resultat.

Mätningarna resulterade i en mängd penetrationskurvor, där skrivaren registrerat penetrationsmotståndet som funktion av djupet. Det var svårt att ur kurvorna avläsa vid vilket djup, och därmed också med vilken kraft, som penetrationsspetsarna brutit igenom skorpan, eftersom något direkt maximumvärde inte alltid erhöles på kurvan trots att skorpan forcerats.

### 5.5. Droppstorleksmätningar

Mätningar av droppstorleksfördelningen vid 4,5 och vid 10 meters avstånd från en bevattningsspridare gjordes i samband med bevattning av odlingsbackarna. Den använda metoden var en modifikation av Wiesners filtrerpappersmetod (jfr 2.1.3.1.).

Ett torrt filtrerpapper placerat i en speciell hållare av plexiglas exponerades under ca 1 sekund före bevattningsstrålen. Härvid eftersträvades att filtrerpapperet i största möjliga utsträckning hölls vinkelrätt mot dropparnas nedslagsvinkel. Tio sekunder därefter dränktes papperet i en dosa innehållande kristallolja samt några droppar metylenblått. Därvid löste sig metylenblått i vattenfläckarna medan resten av papperet förblev ofärgat. Några exempel på hur filtrerpapperen såg ut efter denna "framkallning" finns på bild 5 sid. 30. Efter att papperen torkats mättes de blå fläckarnas diameter.

För att översätta fläckstorlek till motsvarande droppstorlek gjordes med hjälp av analysvåg en kalibreringskurva. Filtrerpapperet placerades på vågskålen och en droppe lades på med hjälp av mikropipett eller med tunn ståltråd, viktsökningen noterades och filtrerpapperet framkallades på samma sätt som vid mätningarna vid bevattningsspridaren. Förfarandet upprepades för olika droppstorlekar. Fläckar mindre än 1 millimeter (motsvarar ungefär droppdiametern 0,6 mm) har ej medtagits i resultaten, på grund av svårigheter att mäta och kalibrera dessa. Så små droppar torde också ha mycket liten inverkan på markstrukturen och på den totalt tillförda vattenmängden.

Vid kalibreringen togs ingen hänsyn till att fläckstorleken kan ha påverkats av dropparnas nedslagshastighet. Därför bör de redovisade droppstorleksfördelningarna (fig. 16 och 17) i första hand betraktas som relativa värden.

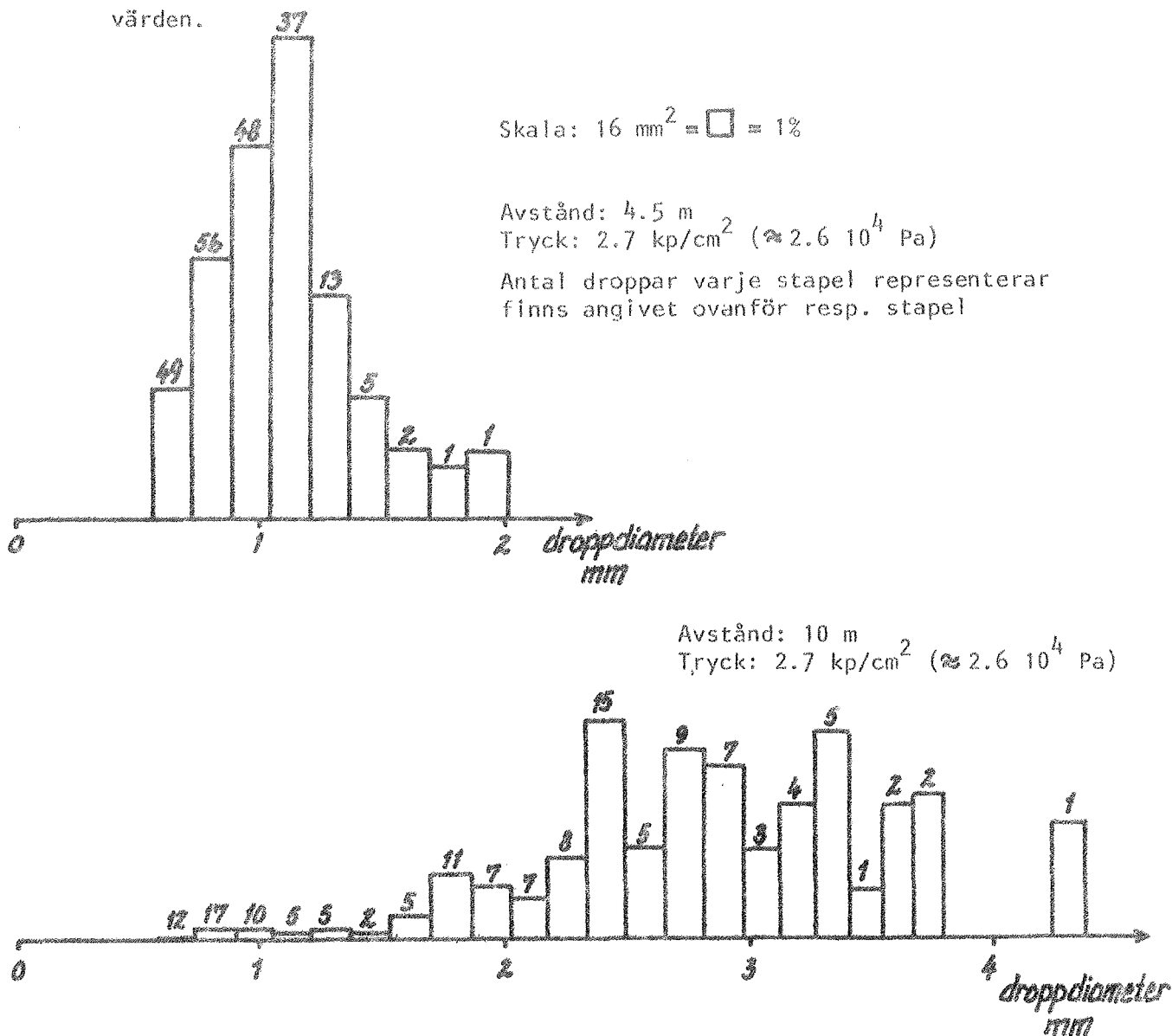


Fig. 16. Histogram över droppstorleksfördelningen i volymsprocent vid 4,5 resp. 10 m från bevattningsspridaren (Perrot ZA 30 W). Munstycke = 3,8 mm diam. Mätningar enl. filtrerpappersmetoden. Tryck:  $2,7 \text{ kp/cm} (\approx 2,6 \cdot 10^4 \text{ Pa})$ .



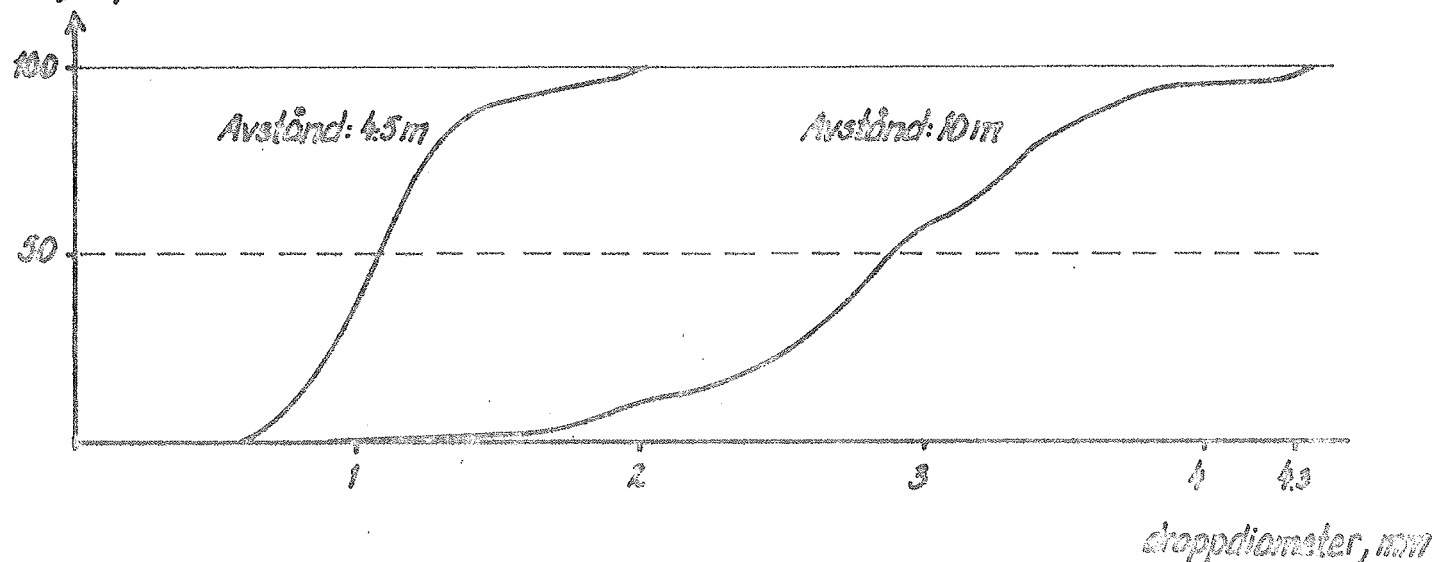


Fig. 17. Summationskurvor för droppstorleksfördelning vid 4,5 och 10 m avstånd från en bevattningsspridare (Perrot ZA 30 W). Munstycke 3,8 mm. Tryck  $2,7 \text{ kp/cm}^2$  ( $\approx 2,6 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ). Mätningar enl. filterpappersmetoden.

Ett försök att utföra droppstorleksmätningar enligt Bentley's degpellett-metod (jfr 2.1.3.1.) gjordes också enligt följande:

Vetemjöl siktades ner i runda plastburkar, med djupet 4 cm och diametern 12 cm. Mjölburkarna exponerades för bevattningsstrålen under ett par sekunder. De vattendroppar som föll i bildade tillsammans med mjölet små degklumpar. Alltsammans torkades i värmeskåp ( $105^\circ\text{C}$ ) under ett dygn, varvid degklumparna hårdnade till "pelletter". Dessa siktades till olika storleksfraktioner. Metoden visade sig vara ganska tidsödande, varför endast fem provtagningar vid vardera avstånden, 4,5 resp. 10 m, från spridaren gjordes.

Någon kalibrering gjordes ej. Antalet pelletter i olika storleksfraktioner kan dock tjäna som jämförelse av droppstorleksfördelningen vid de olika avstånden.

Tabell 4. Antal degpelletter i olika storleksfraktioner vid 4,5 och 10 m avstånd från en bevattningsspridare (Perrot ZA 30 W). Munstycke: 3.8 mm. Tryck:  $2,7 \text{ kp/cm}^2$  ( $\approx 2,6 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ).

Degpellettdiameter mm	Sammanlagda antalet pelletter från 5 provtagningar vid ett avstånd från spridaren av	
	4,5 m	10 m
0,25 - 0,5	3000 - 5000 <sup>1)</sup>	0
0,5 - 1	ca 750 <sup>1)</sup>	0
1 - 2	ca 300 <sup>1)</sup>	59
2 - 4	7	18

1) = uppskattat antal.

## 6. RESULTAT

I uppsatsen redovisas ej primärmaterialet för de mätningar och planträknin-  
gar som gjorts, utan endast sammanställningar i form av medeltal och diagram.

### 6.1. Grödans uppkomst

Grödans uppkomst i de olika försöksleden studerades genom regelbundna plant-  
räkningar.

Fig. 18 visar uppkomstförloppet för de olika jordarna då de inte bevattnats  
(omgång II). Här har alltså inte någon igenslamning eller skorpbildning på-  
verkat uppkomsten. Observera den relativt sena uppkomsten i jord R.

Fig. 19 visar uppkomstförloppet i genomsnitt för de tre olika bevattnings-  
tidpunkterna. Bevattningstidpunkterna finns inlagda i diagrammet. Jämförel-  
sen visar att skorpan efter bevattning (igenslamning) omedelbart efter  
sådd (omgång III) orsakat i genomsnitt ungefär 20 procent sämre uppkomst  
än om bevattningen skett mitt i uppkomsten (omgång I).

I tabellerna 5, 6 och 7 anges medeltalen av antalet uppkomna plantor (av  
104 sådda kärnor) per odlingsback för de olika variablerna i försöket.

Bevattning med stora droppar har orsakat sämre plantuppkomst än bevattning  
med små. Jfr droppstorleksfördelningar i fig. 16 och 17 sid. 22 och 23.

Trots att andra faktorer som jordart och bevattningsintensitet varierats,  
är skillnaden för omgång I signifikant på 1-procentsnivån och för omgång III  
på 0,1-procentsnivån (se tabell 5).

Olika bevattningsintensiteter har inte gett lika entydiga effekter på plant-  
antalet som olika droppstorlekar. I omgång I finns inga större skillnader i  
plantantal efter olika bevattningsintensitet. I omgång III har den lägsta  
intensiteten 5 mm/h orsakat sämst uppkomst i 4 fall av 6 för stora droppar,  
och i 5 fall av 6 för små. Medeltalen visar också att uppkomsten var sämre  
för 5 mm/h i omgång III.

De största effekterna på plantetableringen efter olika behandlingar erhöles  
på jord R, delvis troligen på grund av den långsammare uppkomsten i denna  
(jfr fig. 18). Uppkomstförloppet för jord R, bevattnad omedelbart efter sådd  
visas i fig. 20.

Fig. 18. Uppkomstförloppet för de olika jordarna då de intebevattnats.  
 (Planträknningar i omgång II, varje kurva består av medeltal från 6 odlingsbackar)

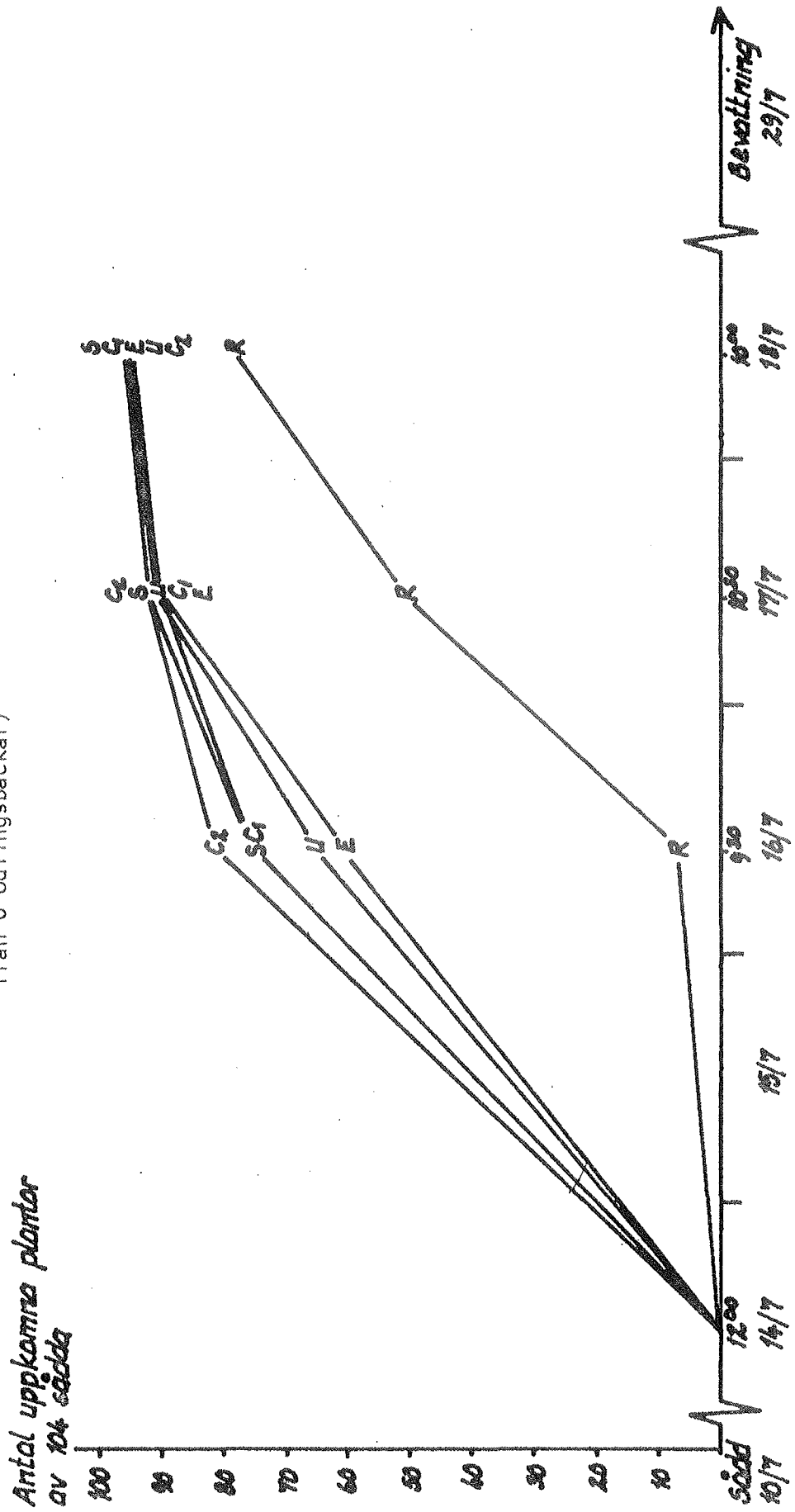
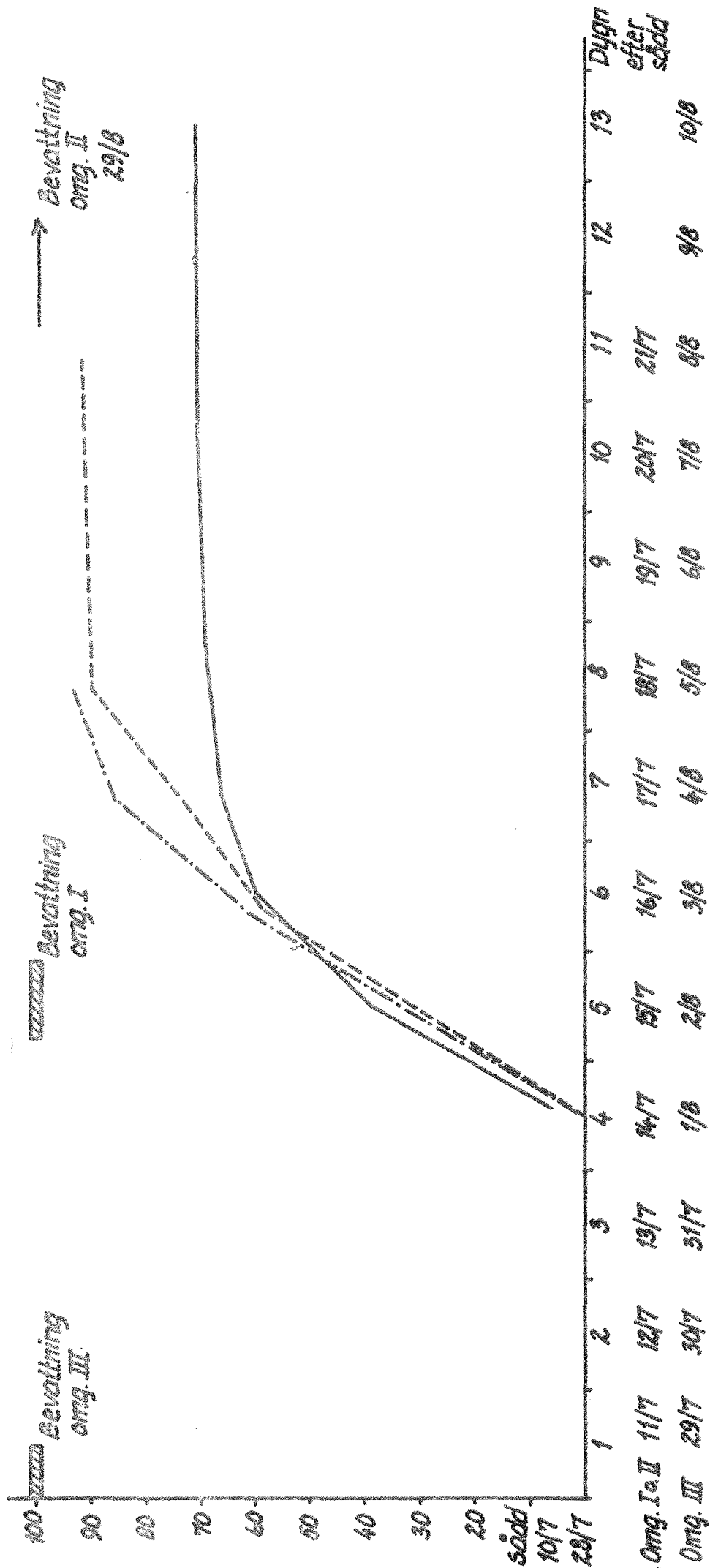


Fig. 19 Uppkomstförloppet i medeltal för olika bevattningstidpunkter

Kurvorna består av medeltal av samtliga 36 försöksled i varje omgång.

Omgång I (---) bevattnad femte dagen efter sådd  
 " II (---) obevattnad  
 " III (---) bevattnad omedelbart efter sådd

Antal uppkomna plantor av 104 sädda



Tabell 5. Antal uppkomna plantor i medeltal av 104 sådda.

## INTENSITET x DROPPSTORLEK

Omgång I Plantantal 11 dgr efter sådd, 6 dgr bevattning

Droppstorlek	Intensitet mm/h			M-tal
	5	10	20	
små droppar	93.7	95.0	92.5	93.7
stora droppar	87.7	89.0	92.3	89.7
M-tal	90.7	92.0	92.4	91.7

Omgång III Plantantal 13 dgr efter sådd, 12 dgr efter bevattning

Droppstorlek	Intensitet mm/h			M-tal
	5	10	20	
små droppar	73.3	89.7	85.7	82.9
stora droppar	55.0	61.8	63.7	60.2
M-tal	64.2	75.8	74.7	71.5

Tabell 6. Antal uppkomna plantor i medeltal av 104 sådda.

## JORDAR x DROPPSTORLEK

Omgång I Plantantal 11 dgr efter sådd, 6 dgr efter bevattning

Droppstorlek	Jord						M-tal
	S	R	E	C1	U	C2	
små droppar	91.7	86.7	99.3	95.0	93.3	96.3	93.7
stora droppar	92.0	81.3	96.3	88.3	86.7	93.3	89.7
M-tal	91.2	84.0	97.8	91.7	90.0	94.8	91.7

Omgång III Plantantal 13 dgr efter sådd, 12 dgr efter bevattning

Droppstorlek	Jord						M-tal
	S	R	E	C1	U	C2	
små droppar	90.7	61.7	90.7	76.0	88.3	90	82.9
stora droppar	72.3	20.7	82.7	70.7	57.7	57.0	60.2
M-tal	81.5	41.2	86.7	73.3	73.0	73.5	71.5

Tabell 7. Antal uppkomna plantor i medeltal av 104 sådda.

## JORDAR x INTENSITET

Omgång I Plantantal 11 dgr efter sådd, 6 dgr efter bevattning

Intensitet mm/h	Jord						
	S	R	E	C1	U	C2	M-tal
5	92.5	80.0	98.0	90	90.5	93.0	90.7
10	89.5	88.5	99.5	89.5	89.0	96.0	92.0
20	93.5	83.5	96.0	95.5	90.5	95.5	92.4
M-tal	92.2	84.0	97.8	91.7	90.0	94.8	91.7

Omgång III Plantantal 13 dgr efter sådd, 12 dgr efter bevattning

mm/h	Jord						
	S	R	E	C1	U	C2	M-tal
5	73.5	32.5	85.5	62.5	63.5	67.5	64.1
10	88.0	55.0	85.0	79.5	68.5	79.0	75.8
20	83.0	36.0	89.5	78.0	87.0	74.0	74.6
M-tal	81.5	41.2	86.7	73.3	73.0	73.5	71.5

6.2. Bildmaterial och subjektiva graderingar

De synliga effekterna på jordarna efter bevattning på olika sätt var mycket påtagliga. För att dokumentera dessa fotograferades försöket med både färg- och svartvit film vid flera tillfällen. Exempel från det gjorda bildmaterialet finns på sid. 30, där bilderna 1, 2 och 3 visar hur jorden slammats igen på jord R efter skilda behandlingar. (De ljusa banden på jorden är snören vars uppgift var att hålla de krökta knappålarna för skorphållfasthetsmätningarna enligt 5.4.1. på plats.)

Relativa graderingar av igenslamning och upptorkning gjordes. Från dessa kan följande vara av intresse.

Försöksled som bevattnats med stora droppar kombinerat med intensiteterna 10 eller 20 mm/h såg mest igenslammade ut (hade slätast yta). Aggregatstrukturen på led bevattnade med små droppar kombinerat med låg intensitet såg på ytan ganska opåverkad ut.

Försöksled bevattnade med små droppar kombinerat med 10 mm/h torkade upp långsammare på ytan (ungefär en dag senare) än övriga led.

Jord E torkade upp långsammare på ytan än övriga jordar.

Antal uppkomna  
planter av 104  
sådda

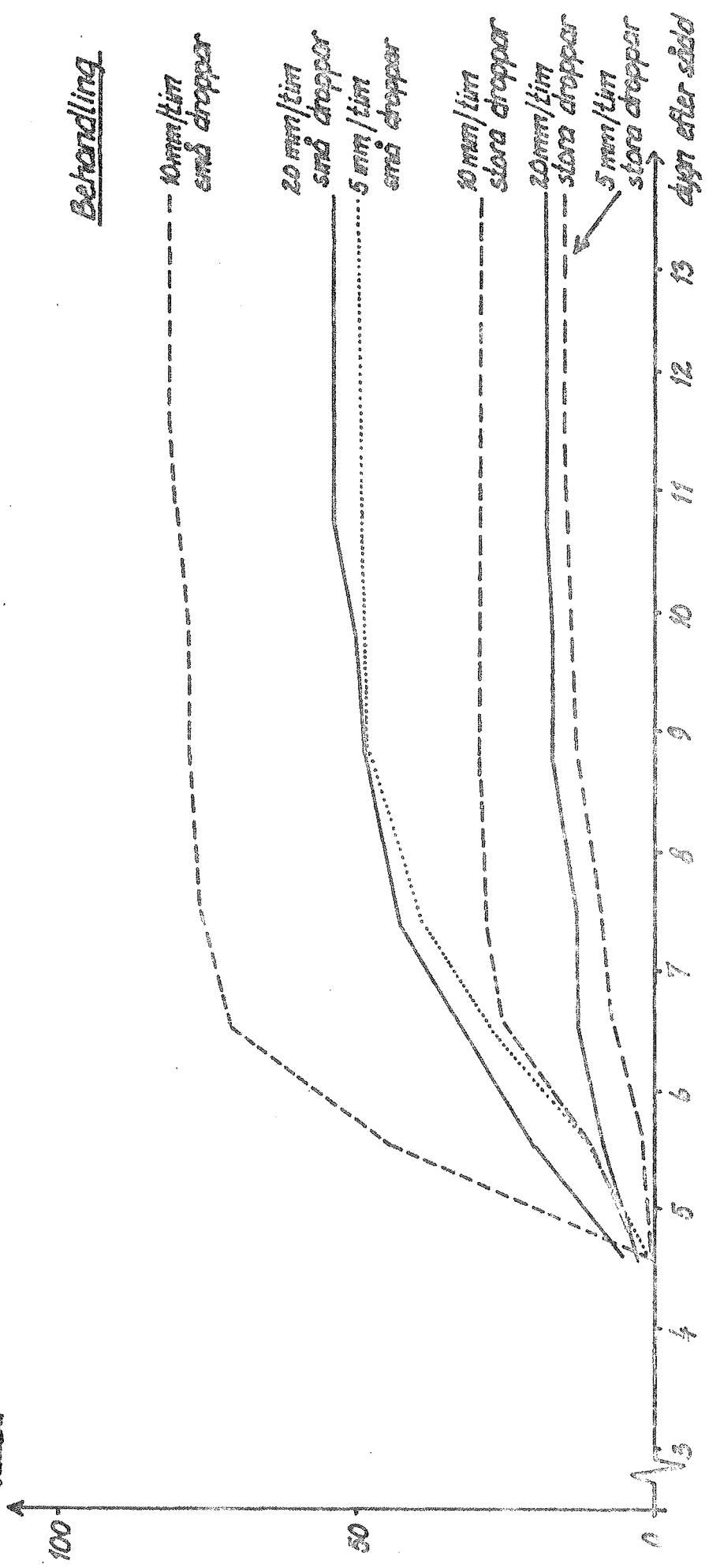


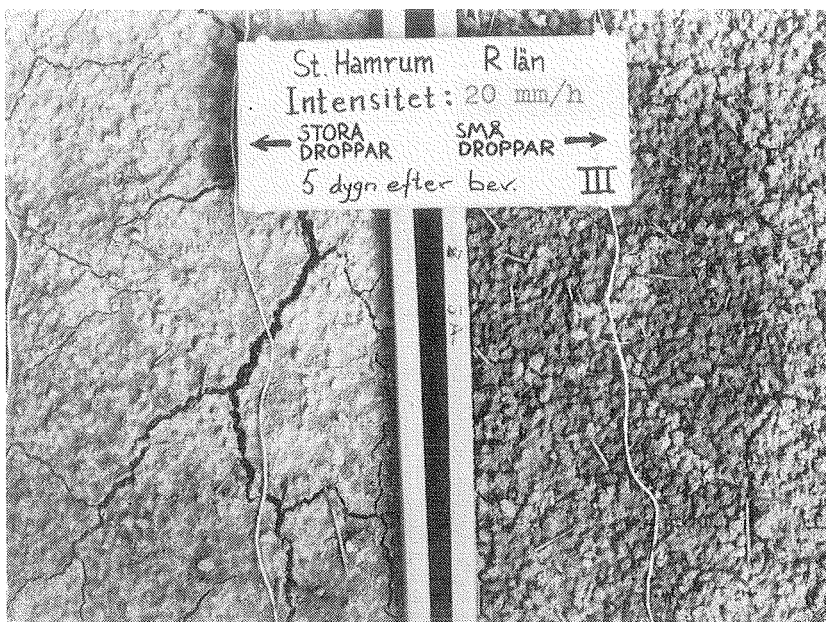
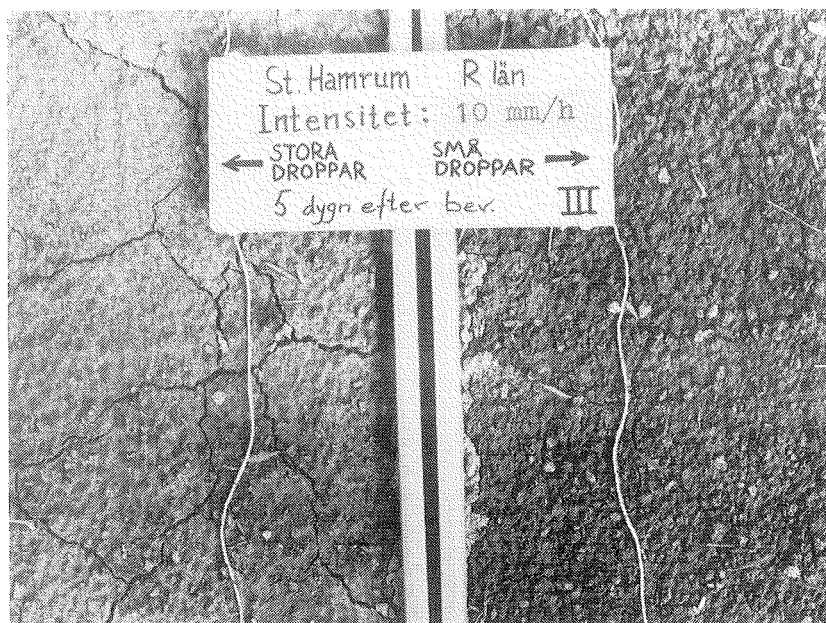
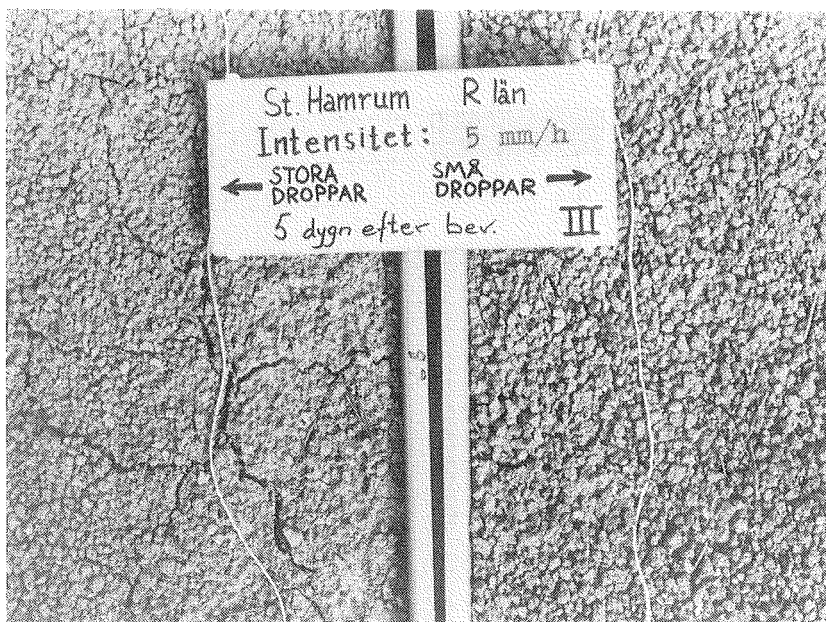
Fig. 20. Uppkomst i jord från St. Hamrum, Hjo R-län  
Bevattning direkt efter sådd (omgång III)

Behandling

Bild 1-3.

Ytstrukturen på en  
mjällig lättlera efter  
bevattning med olika  
droppstorlek och oli-  
ka intensitet.

Bevattningsgiva: 20 mm.





### 6.3. Skorphållfasthet

#### 6.3.1. Nålmetoden

Resultaten från skorphållfasthetsmätningar enligt "knappnålsmetoden" (5.4.1) finns i tab. 8, 9 och 10. Tabellerna bygger på medeltalen från 4 till 12 mätningar per försöksled. Antalet mätvärden varierar på grund av att en del nålar kom att befinna sig i eller mycket nära (mindre än 1/2 cm) sprickor i jorden. Dessa värden har slopats. För att styrka detta förfarande har motsvarande sammanställning också gjorts på medeltalen av de tre högsta mätvärdena i varje försöksled, liksom på enbart maxvärdet i varje led. Dessa sammanställningar visar samma tendenser som tabellerna nedan varför de inte redovisas i uppsatsen.

Skillnaden i skorphållfasthet mellan omgång I och III är tydlig. Bevattning omedelbart efter sådd har orsakat en hårdare skorpa än bevattning mitt i uppkomsten.

Medeltalet av erforderlig lyftkraft för nålarna i respektive försöksled var i 31 fall av 36 större i omgång III än i omgång I. Maxvärdet var större i omgång III i 34 fall av 36.

Stora droppar har i medeltal orsakat en hårdare skorpa än små. I 32 fall av 36 var medeltalet för respektive försöksled större för stora droppar än för små droppar. De 4 fall där små droppar orsakat hårdare skorpa än stora är i jord S bevattnad med 10 och 20 mm/h vid båda bevattningstidpunkterna.

Den lägsta bevattningsintensiteten, 5 mm/h, har i medeltal inte orsakat lika hård skorpa som de högre, 10 och 20 mm/h. I 7 fall av 12 i omgång I, och i 10 fall av 12 i omgång III, sammanlagt alltså i 17 fall av 24, har 5 mm/h orsakat den svagaste skorpan. I omgång I har 20 mm/h orsakat den hårdaste skorpan. I omgång III har 10 mm/h orsakat den hårdaste skorpan.

Primärmaterialet visar en mycket stor spridning för de olika intensiteterna, och därför är det svårt att uttala sig om några klara tendenser om intensitetens inverkan på skorphållfastheten utifrån dessa mätningar.

Vid jämförelser mellan de olika jordarna finner man att jord C<sub>1</sub> och R i medeltal haft hårdare skorpa än de övriga jordarna. Jord E har i genomsnitt klarat sig bäst från skorpbildning.

Tabell 8. Medeltal av den lyftkraft ett antal knappnålar (4-12 st) i varje försöksled fordrat för att dras loss ur skorpan. Enhet: Pond (1 pond  $\approx$  0,00981 N).

INTENSITET  $\times$  DRÖPPSTÖRLEK

<u>Omgång I (bev. mitt i uppkomsten)</u>					<u>Omgång III (bev. direkt efter sådd)</u>				
Intensitet mm/h					Intensitet mm/h				
Droppstorlek	5	10	20	M-tal	Droppstorlek	5	10	20	M-tal
små droppar	138	258	308	235	små droppar	307	582	413	434
stora droppar	443	364	427	411	stora droppar	524	831	672	676
M-tal	291	311	368	323	M-tal	416	707	543	555

Tabell 9. Medeltal av den lyftkraft ett antal knappnålar (4-12 st) i varje försöksled fordrat för att dras loss ur skorpan. Enhet: Pond (1 pond  $\approx$  0,00981 N).

JORDAR  $\times$  INTENSITET

Omgång I (bev. mitt i uppkomsten)

Intensitet	Jord						M-tal
	S	R	E	C1	U	C2	
5	225	278	133	532	234	344	291
10	263	443	187	376	320	277	311
20	252	600	186	403	334	432	368
M-tal	246	440	168	436	295	350	323

Omgång III (bev. direkt efter sådd)

	S	R	E	C1	U	C2	M-tal
5	194	904	307	544	312	232	416
10	570	1175	474	890	507	627	707
20	496	721	455	579	587	420	543
M-tal	420	933	411	670	468	426	555

Tabell 10. Medeltal av den lyftkraft ett antal knappnålar (4-12 st) i varje försöksled fordrat för att dras loss ur skorpan. Enhet: Pond (1 pond  $\approx$  0,00981 N).

JORDAR x DRÖPPSTÖRLEK

Omgång I (bev. mitt i uppkomsten)

Droppstorlek	Jord						M-tal
	S	R	E	C1	U	C2	
små droppar	249	366	106	287	192	209	235
stora droppar	243	514	231	586	399	493	411
M-tal	246	440	168	436	295	350	323

Omgång III (bev. direkt efter sådd)

	S	R	E	C1	U	C2	
små droppar	396	708	379	436	288	397	434
stora droppar	443	1158	444	905	649	455	676
M-tal	420	933	411	670	468	426	555

6.3.2. Självregistrerande penetrometer

Penetrationskurvor från mätningar med den självregistrerande penetrometern (se 5.4.3.) finns för omgång III i bilagorna 2 och 3. Dessa kurvor är medelkurvor från de två penetrationer som gjordes i varje försöksled.

Motsvarande medelkurvor för omgång II redovisas ej i uppsatsen. De visar ungefär samma tendenser som kurvorna för omgång III. Penetrationsmotståndet var dock genomgående högre för omgång III än för omgång II.

Av kurvorna framgår tydligt att stora droppar orsakat hårdare skorpa än små. Olika intensiteters verkan på skorphållfastheten framgår ej lika tydligt.

I fig. 21 nedan visas schematiserade medelkurvor, där medelvärdet av penetrationsmotståndet vid 2, 4, 6 och 8 mm djup beräknats över samtliga sex jordar i omgång III.

Vattenhalten i jordproven från penetrationsmätningarna mättes. Denna varierade i omgång II från 1,4 till 6,5 viktsprocent, och i omgång III från 1,8 till 7,9 viktsprocent. Några tendenser till samband mellan vattenhalt och penetrationsmotstånd fanns ej.

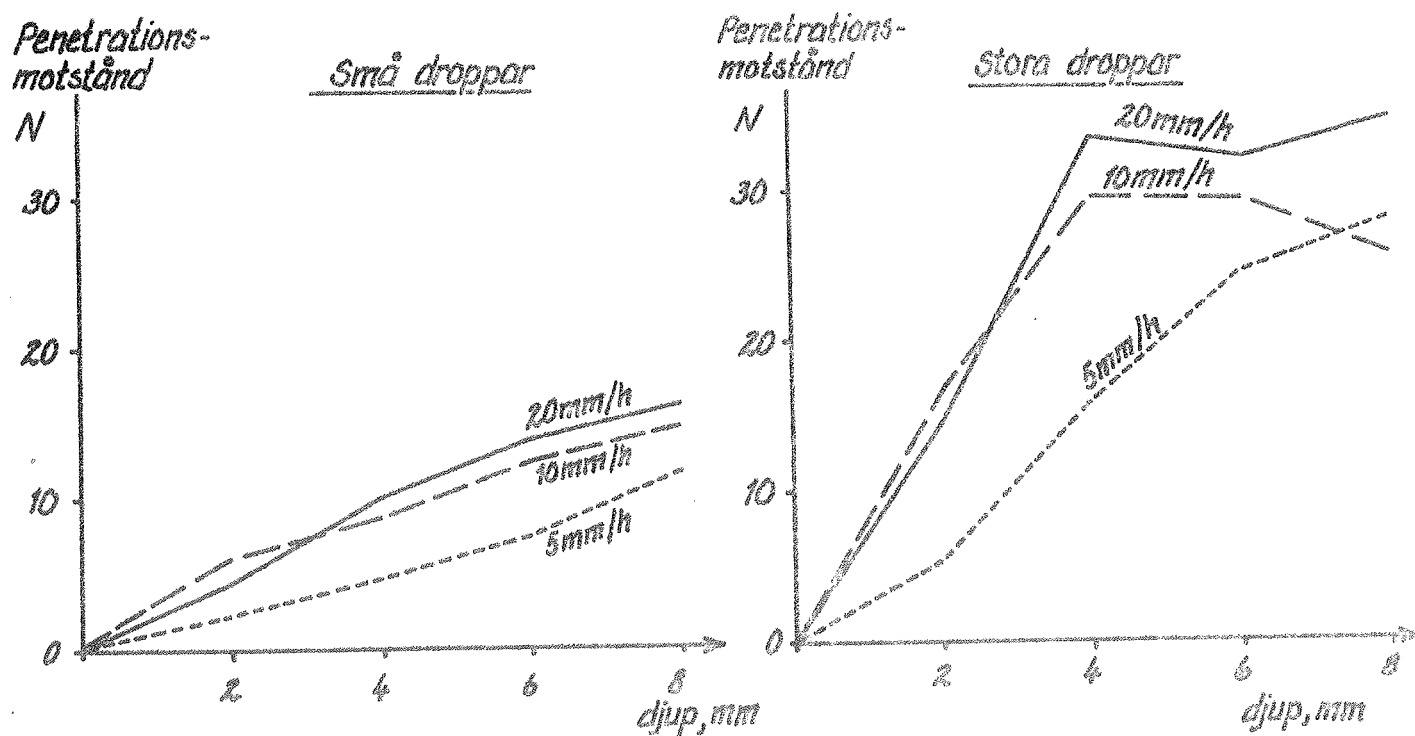


Fig. 21. Penetrationsmotståndets beroende av bevattningsintensitet och droppstorlek. Medeltal för sex jordar.

## 7. DISKUSSION

De i undersökningen ingående jordarna kan samtliga anses vara mer eller mindre känsliga för skorpbildning. Genom att väga samman de i undersökningen framkomna resultaten, kan följande relativa gradering göras:

Mycket skorpbildningsbenägna: jordarna R och C<sub>1</sub>

Skorpbildningsbenägna: jordarna U, C<sub>2</sub> och S

Mindre skorpbildningsbenägen: jord E.

Vad beror dessa skillnader på? Några reflektioner över jordarnas analysvärden (jfr tabellerna 1 och 2, sid. 14 och 15) vilket kan förklara en del följer nedan:

Jord U har det största mjälainslaget, därefter jord R och därefter jordarna C<sub>1</sub> och C<sub>2</sub>. Jord U har den högsta mullhalten, högsta porvolymen och den lägsta volymvikten. Dessa faktorer har för jord U troligen uppvägt nackdelarna ur skorpbildningssynpunkt av ett stort mjälainslag.

Några större skillnader i analysvärdena mellan jord C<sub>1</sub> och jord C<sub>2</sub> finns ej.

Jordarna S och E har betydligt lägre lerhalt än de övriga. Det lägre lerinslaget bidrar till att skorpan inte blir lika effektivt "cementerad". Detta gäller särskilt för jord E.

Undersökningen har visat att en skorpa orsakad av igenslamning vid bevattning med påföljande upptorkning blir hårdare om bevattningen sker innan grödan kommit upp. Orsaken kan vara att grödan skyddar jorden mot igenslamning och att grödans vattenupptagning påskyndar skorpans upptorkning, om grödan helt eller delvis är uppe vid tidpunkten för igenslamning. En snabbare upptorkning leder till en svagare skorpa enligt 2.2.2.

Bevattning med stora droppar har orsakat kraftigare igenslamning, hårdare skorpa och sämre plantuppkomst än bevattning med små droppar. Det är ganska naturligt, och stämmer väl överens med den refererade litteraturen i 2.1.3.

Olika bevattningsintensitet har i försöket givit något oväntade resultat. Att skorpans hållfasthet i genomsnitt var större i försöksled bevattnade med 10 och 20 mm/h än för led bevattnade med 5 mm/h, samtidigt som plantuppkomsten blev sämst i det sista fallet förefaller motsägelsefullt. Här beror tydligen inte den sämre plantuppkomsten på att skorpan varit för hård, utan andra faktorer spelar in. En undersökning av skorpans volymvikt, tjocklek, sprickfrekvens och sprickvidd kanske skulle kunnat ge en förklaring, men några sådana undersökningar gjordes ej.

Den lägsta intensiteten, 5 mm/h, orsakade inte lika effektiv igenslamning på ytan som de högre intensiteterna, men vad hände djupare ned i jorden? En teori är att finare material långsamt har spolats loss från aggregatyterna på det översta jordlagret. Denna efterhand bildade "lervälling" kan, tack vare den långsammare bevattningen, ha spolats ner djupare och därvid kittat ihop aggregat på ett större djup än om bevattningen skett snabbt. Dessutom kanske de hopkittade aggregaten fungerat som "fällor" för plantorna (se fig. 22). Då koleoptilen kommit in i en sådan "fälla" eller "återvändsgränd" har den tvingats att böja sig och därvid förlorat skjutkraft.

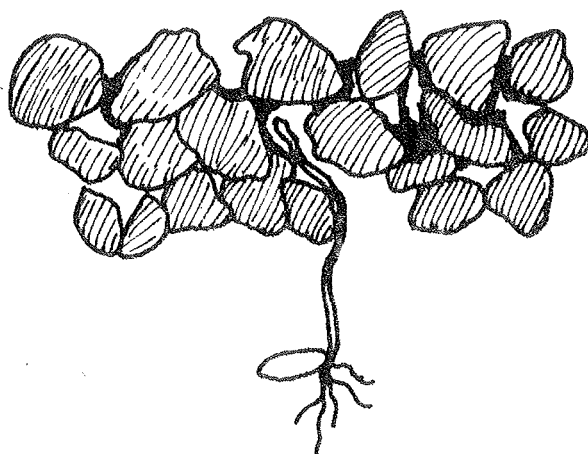


Fig. 22. Hopkittade aggregat kan ha orsakat "fällor" för plantorna. De mörka partierna representerar nedspolat material.

Jag vill betona att ovanstående endast är en lös, obekräftad teori, men som kanske kan vara en förklaring till det något motsägelsefulla resultatet. Teorin stämmer ganska väl med iakttagelser som gjorts vid såbäddsförsök, utförda vid försöksavd. för Jordbearbetning, där ytlager med olika aggregatstorlek slamrats igen och uppkomsten därefter studerats (von Polgár, personlig information).

Att igenslamning och skorpbildning före grödans uppkomst kan försämra plantetableringen är förut väl känt och framgår också av denna undersökning.

Bevattningsmedel med avsikt att trygga groningen och uppkomst bör betraktas som en nödfallsåtgärd att ta till då vårbruket misslyckats och vådrets makter håller inne med nederbörden. Gör man en sådan bevattning måste man räkna med risken att jordens ytlager slammar igen och en uppkomsthindrande skorpa kan uppstå, speciellt gäller detta på känsliga mjälajordar, lättleror och lätta mellanleror.

För att minska risken för strukturskador på jorden, bör man eftersträva så små droppar som möjligt. Detta kan ske genom att låta bevattningsanläggningen arbeta med så högt tryck som möjligt, med hänsyn taget till vad ledningar m.m. tål, att spridningsbilden inte blir alltför ojämn och olägenheterna med vindavdrift.

Som en orientering om bevattningsintensitetens och droppstorlekens betydelse för skorpbildningsriskerna, och som hjälp för uppläggning och genomförande av andra modell- eller fältförsök inom ämnet, hoppas jag att undersökningen och litteraturöversikten kan ha sitt värde.

Undersökningar av droppstorlekens och bevattningsintensitetens inverkan på markstrukturen under fältförhållanden, skulle säkert hälsas med tillfredsställelse av de lantbrukare i försommartorra områden som tvekar om de skall våga vattna upp t.ex. en vallinsådd med tanke på skorpbildningsrisken. Sådana undersökningar borde då kompletteras med studier av droppstorleksfördelning och momentana bevattningsintensiteter (jfr 2.1.4) för olika bevattningssystem.

Mer kunskap om hur man med hjälp av bevattning kan mildra verkningarna av en redan uppkommen skorpa behövs också.

## 8. SAMMANFATTNING

Igenslamning och skorpbildning, orsakad av kraftigt regn eller bevattning med stora droppar på struktursvaga jordar, t.ex. lätt- och lätta mellan-

leror, mo- och mjälajordar, och därpå följd upptorkning kan resultera i försämrad plantetablering, om igenslamningen sker före grödans uppkomst.

Litteraturöversikten behandlar mekanismerna och orsakerna till igenslamning och skorpbildning, liksom effekterna på mark och gröda. Enkla metoder för mätning av dropstorlek beskrivs.

I ett modellförsök bevattnades sex struktur känsliga jordar vid tre olika tidpunkter efter sådd, med "små" och "stora" droppar och med bevattningsintensiteterna 5, 10 och 20 mm/h.

Undersökningens syfte var att orientera om effekterna på mark och gröda av "omild" bevattning, samt att orientera om olika metoder för att mäta skorpk hållfasthet och dropstorlek.

Resultaten visar att den tidigaste bevattningstidpunkten, omedelbart efter sådd, orsakade den kraftigaste igenslamningen och efter upptorkning den hårdaste skorpan. Igenslamning på ett tidigt stadium ledde också till sämre plantuppkomst.

Bevattning med stora droppar orsakade en kraftigare igenslamning, hårdare skorpa och betydligt sämre plantuppkomst än bevattning med små droppar.

Bevattning med olika intensitet gav ej lika klara tendenser som bevattning med olika dropstorlek. 20 mm/h och 10 mm/h orsakade kraftigare igenslamning och hårdare skorpa än 5 mm/h. Plantuppkomsten blev emellertid sämst efter bevattning med 5 mm/h.

De sex olika jordarna blev samtliga mer eller mindre igenslammade även för den mildaste behandlingen. En något mullhaltig mjälilig lättlera från Kåkindsområdet i Västergötland drabbades värst av skorpbildning och försämrad uppkomst. Den lättaste av de ingående jordarna, en lerig mo från Östergötland klarade sig bäst undan skorpbildning och hade också den bästa plantuppkomsten.

#### LITTERATURFÖRTECKNING

- Arndt, W. 1965. The nature of the mechanical impedance to seedlings by soil surface seals. Aust. J. Soil Res. 3 s. 45-54.
- Bean, A.G.M. & Wells, D.A. 1953. Soil capping by water drops. National Institute of Agric. Engineering. Silsoe. Report no 23. 11 sid.
- Bentley, W.A. 1904. Studies of raindrops and raindrop phenomena. Mon. Weath. Rev. 32 s. 450-456.

- Busch, C.D., Rochester, E.W. & Jernigan, C.L. 1973. Soil crusting related to sprinkler intensity. *Trans. ASAE* 16. s. 808-809.
- Carter, C.E., Greer, J.D., Braud, H.J. & Floyd, J.M. 1974. Raindrop characteristics in south central United States. *Trans ASAE* 17, s. 1033-1037.
- Cernuda, C.F., Smith, R.M. & Vicente-Chandler, J. 1954. *Soil Sci.* vol. 27 (1) s. 19-27.
- Domby, C.W. & Kohnke, H. 1956. The influence of soil crusts on gaseous diffusion. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* vol 20 (1). s. 1-5.
- Duley, F.L. 1939. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* vol. 4:60-64.
- Hanks, R.J. 1960. Soil crusting and seedling emergence. *Trans. 7th Int. Cong. Soil Sci.* 1, s. 340-346.
- Heinonen, R. 1965. Skorpbildning och skorpbrytning i vårsäd. *Lantbr. Högsk. meddn A* 25. 17 sid.
- Heinonen, R. 1975. Jordarterna och deras brukningsegenskaper. *Lantbr. Högsk. meddn B* 23.
- Heinonen, R. 1977. *Lantbrukshögskolans försöksledarmöte 1977. Uppsala Del 1. sid. 2:2. Konsulentavd. stencilserie Allmänt 7.*
- Holder, C.B. & Brown, K.W. 1974. Evaluation of seedling emergence through rainfall induced soil crusts. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* vol. 38 (5) s. 705-710.
- Horton, R.E. 1940: An approach toward physical interpretation of infiltration-capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* vol. 15 s. 399-417.
- Keller, J. 1964. Less soil compaction with low application rate sprinkling. *Sprinkler Irrigation Ass. Proc. Ann. Techn. Conf. California.* s. 45-50.
- Kohl, R.A. 1974. Drop size distribution from medium sized agricultural sprinklers. *Trans. ASAE.* 18 s. 690-693.
- Laws, J.O. 1940. Recent studies in raindrops and erosion. *Agric. Eng.* vol. 21 (11) s. 431-433.
- Laws, J.O. 1941. Measurements of the fall-velocity of waterdrops and raindrops. *Trans. American Geophysical Union, Papers Hydrology.* s. 709-721.
- Lemos, P. & Lutz, J.F. 1957. Soil crusting and some factors affecting it. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* vol. 21 s. 485-491.



- Levine, G. 1952. Effects of irrigation droplet size on infiltration and aggregate breakdown. *Agric. Eng.* vol. 33 s. 559-560.
- Lyles, L., Dickerson, J.D. & Schmeidler, N.F. 1974. Soil detachment from clods by rainfall: Effects of wind, mulch cover and initial soil moisture. *Trans. ASAE* vol. 17 (4) s. 697-700.
- Mantell, A. & Goldberg, D. 1966. Effect of water application rate on soil structure. *J. agric. Eng*
- Merrington, A.C. & Richardson, E.G. 1947. The break-up of liquid jets. *Proc. Physical Soc.* vol. 59 (1) nr 331. s. 1-13.
- Palmer, R.S. 1965. Waterdrop impact forces. *Trans ASAE* vol. 8 (1) s. 69-70, 72.
- von Polgár, J. 1977. Modellförsök med såbäddens funktion. Lantbrukshögskolans försöksledarmöte 1977, Del 1, s. 7:1-7:7, Uppsala. Konsulentavdelningens stencilserie, Allmänt 7.
- Richards, L.A. 1954. Modulus of rupture as an index of crusting of soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* vol. 18 s. 130-132.
- Ryan, R.T. 1976. The behavior of large, low-surface-tension waterdrops falling at terminal velocity in air. *Journal of applied meteorology.* vol. 15 (2). s. 157-165.
- Schladerbusch, O.H. & Czeratzki, W. 1957. Die Niederschlagsenergie verschiedener Regner und ihr Einfluss auf die Bodenverschlammung. *Landtechnische Forschung* 7 (1) s. 25-31.
- Schleusener, P.E. & Kidder, E.H. 1959. Drop size distribution from a medium pressure irrigation sprinkler. *Mich. agric. exp. station. Quarterly bulletin.* 42 s. 393-400.
- Schleusener, P.E. & Kidder, E.H. 1960. Energy of falling drops from medium-pressure irrigation sprinkler. *Agric. Eng.* vol. 41 s. 100-103.
- Seginer, I. 1965. Tangential velocity of sprinkler drops. *Trans. ASAE* vol. 8 (1). s. 90-93.
- Sor, K. & Bertrand, A.R. 1962. Effects of rainfall energy on the permeability of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* vol. 26 (3) s. 293-297.
- Taylor, H.M. 1962. Seedling emergence of wheat, grain sorghum, and guar as affected by rigidity and thickness of surface crusts. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* vol. 26 (5). s. 431-432.
- Wiesner, J. 1895. Beiträge zur Kenntnis des tropischen Regens. *Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.* 104: s. 1397-1434.

Wiklander, L. 1976. Marklära. kap. Markstruktur. s. 33-35. Lantbrukshögskolan Uppsala.

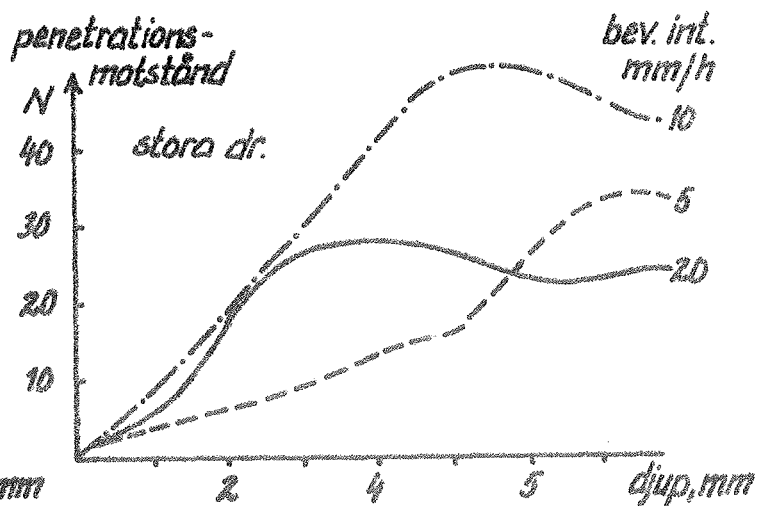
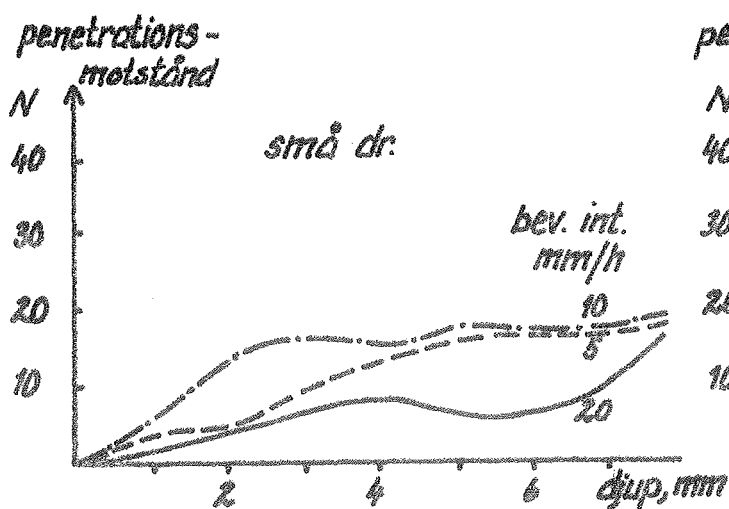
Meteorologiska observationer vid Lantbrukshögskolan - Ultuna  
 Institutionen för växtodling - Lantbruksmeteorologi

Utdrag ur månadsrapporterna för juli och augusti 1975.

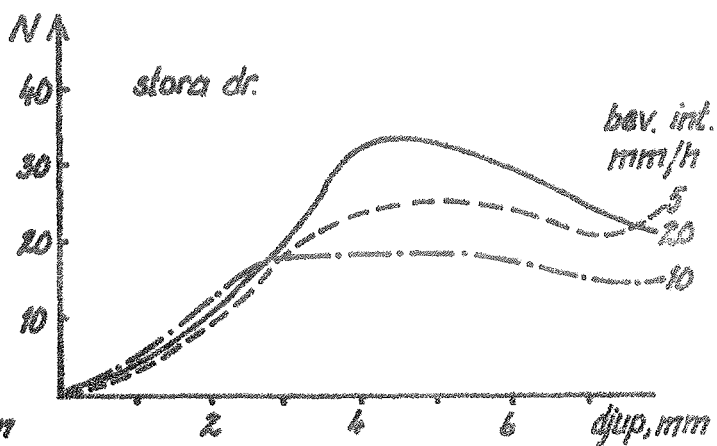
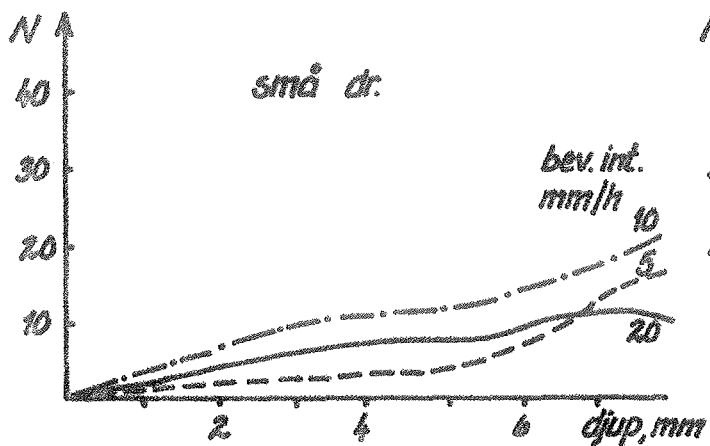
Datum	Lufttemp °C Dygnsnmedel	Luftfuktighet % klockan 13	Potentiell evapotrans- piration (enl. Penman)
Juli 10	18,6	35	5,3
11	18,8	38	4,0
12	19,0	43	4,3
13	16,4	63	2,8
14	15,3	59	2,8
15	16,7	88	1,5
16	16,5	59	2,8
17	16,5	49	2,9
18	19,1	37	4,4
19	19,2	35	4,1
20	20,6	30	3,9
21	20,9	27	4,4
22	18,2	69	3,9
23	17,3	72	2,3
24	17,8	73	2,1
25	16,7	41	3,8
26	14,7	62	2,2
27	19,4	44	4,5
28	18,7	50	3,7
29	20,0	37	4,0
30	20,7	35	3,9
31	20,5	41	4,1
Aug. 1	18,4	69	3,4
2	16,3	64	2,3
3	20,6	39	3,7
4	23,6	28	4,9
5	24,8	38	3,8
6	25,4	37	3,2
7	26,8	32	4,3
8	25,9	18	4,9
9	23,7	36	4,3
10	22,6	34	3,6
11	20,4	44	3,0
12	16,3	47	3,7
13	15,2	43	2,6
14	18,1	55	2,7
15	15,9	65	1,9
16	14,0	71	2,2
17	14,4	76	1,8
18	13,1	60	2,3

Penetreringskurvor från mätningar med självregistrerande penetrometer.  
Jordarna bevattnade direkt efter sådd.

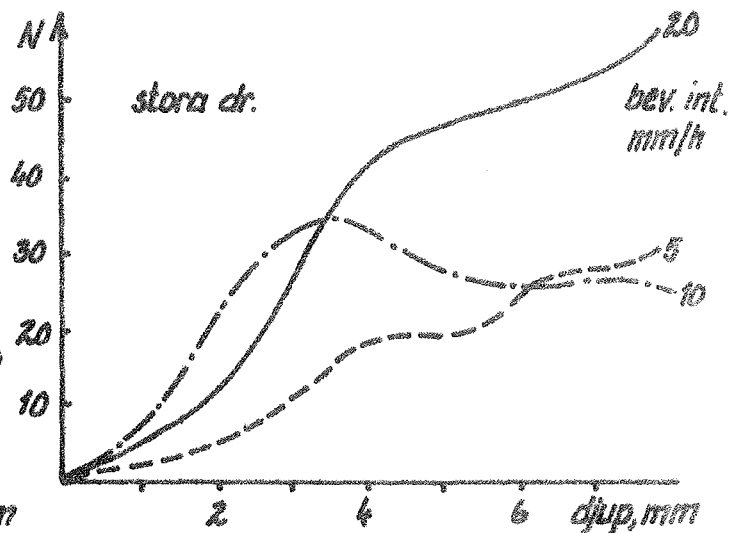
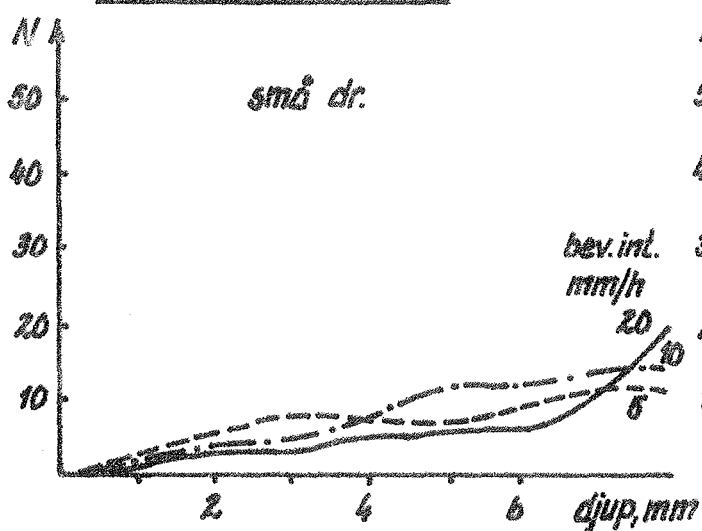
### St. Hamrum R-lån



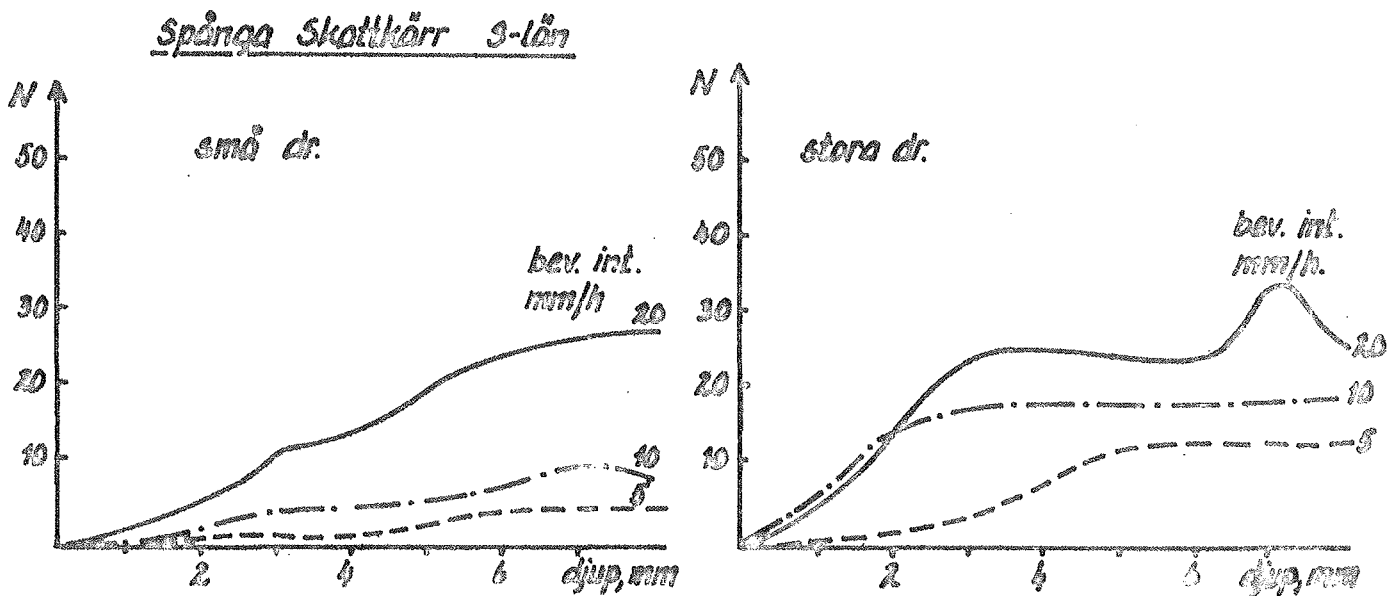
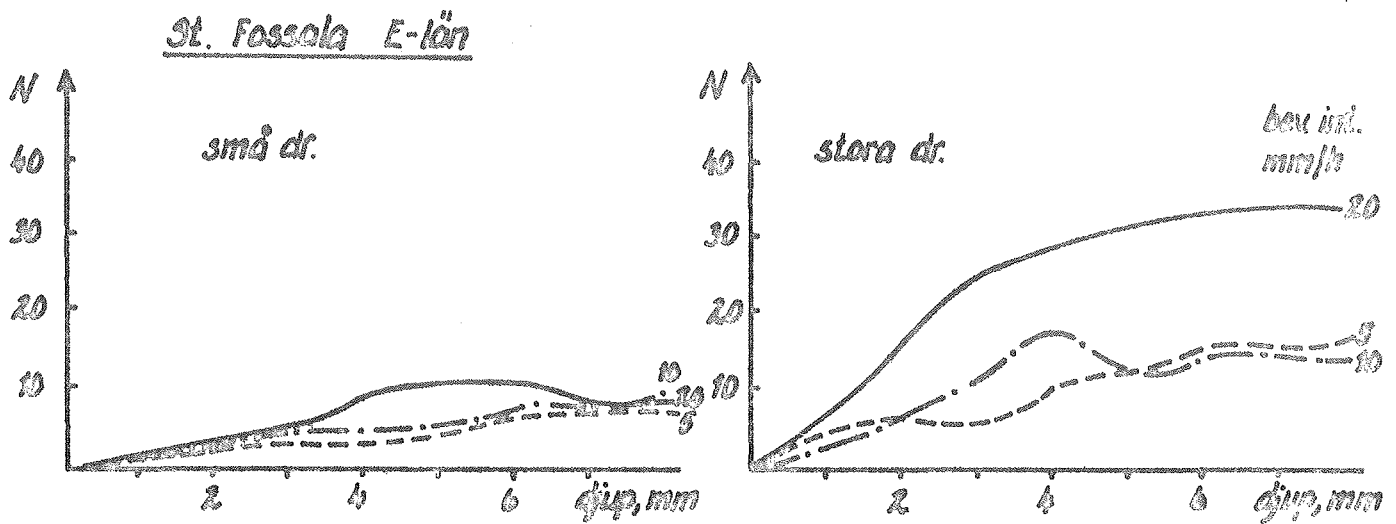
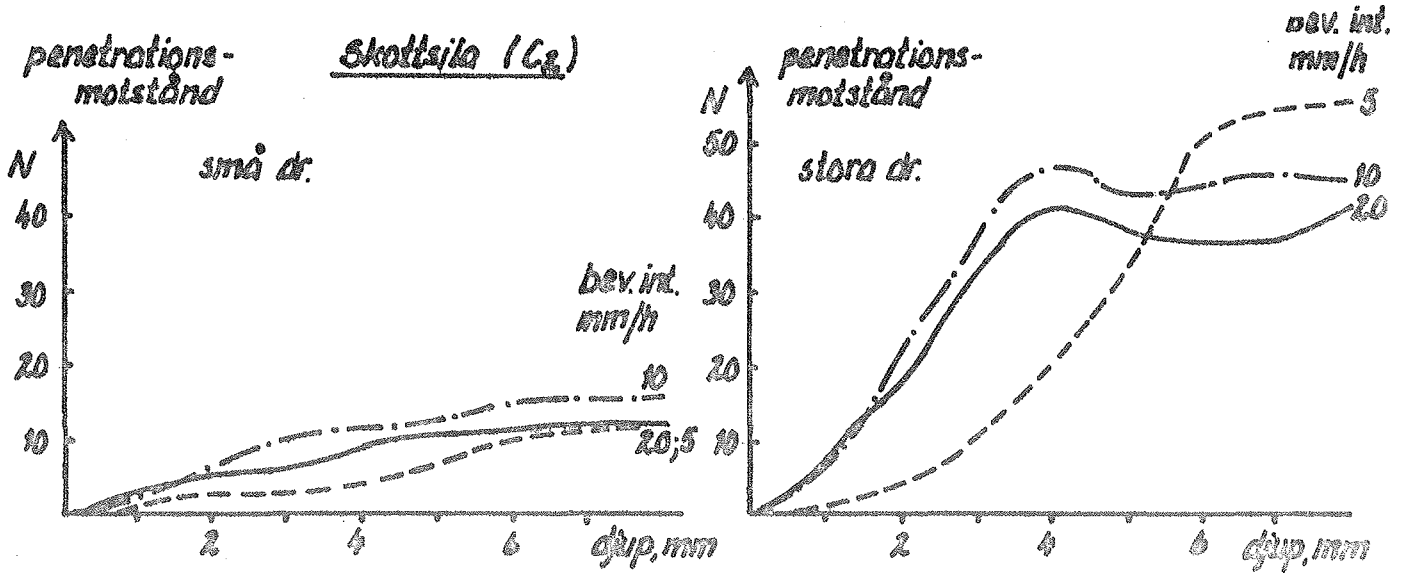
### Grån Långlara C-lån (C<sub>2</sub>)



### Näs Möklinta U-lån



Penetreringskurvor från mätningar med självregistrerande penetrometer.  
Jordarna bevattnade direkt efter sådd.



Förteckning över utkomna häften i serien:

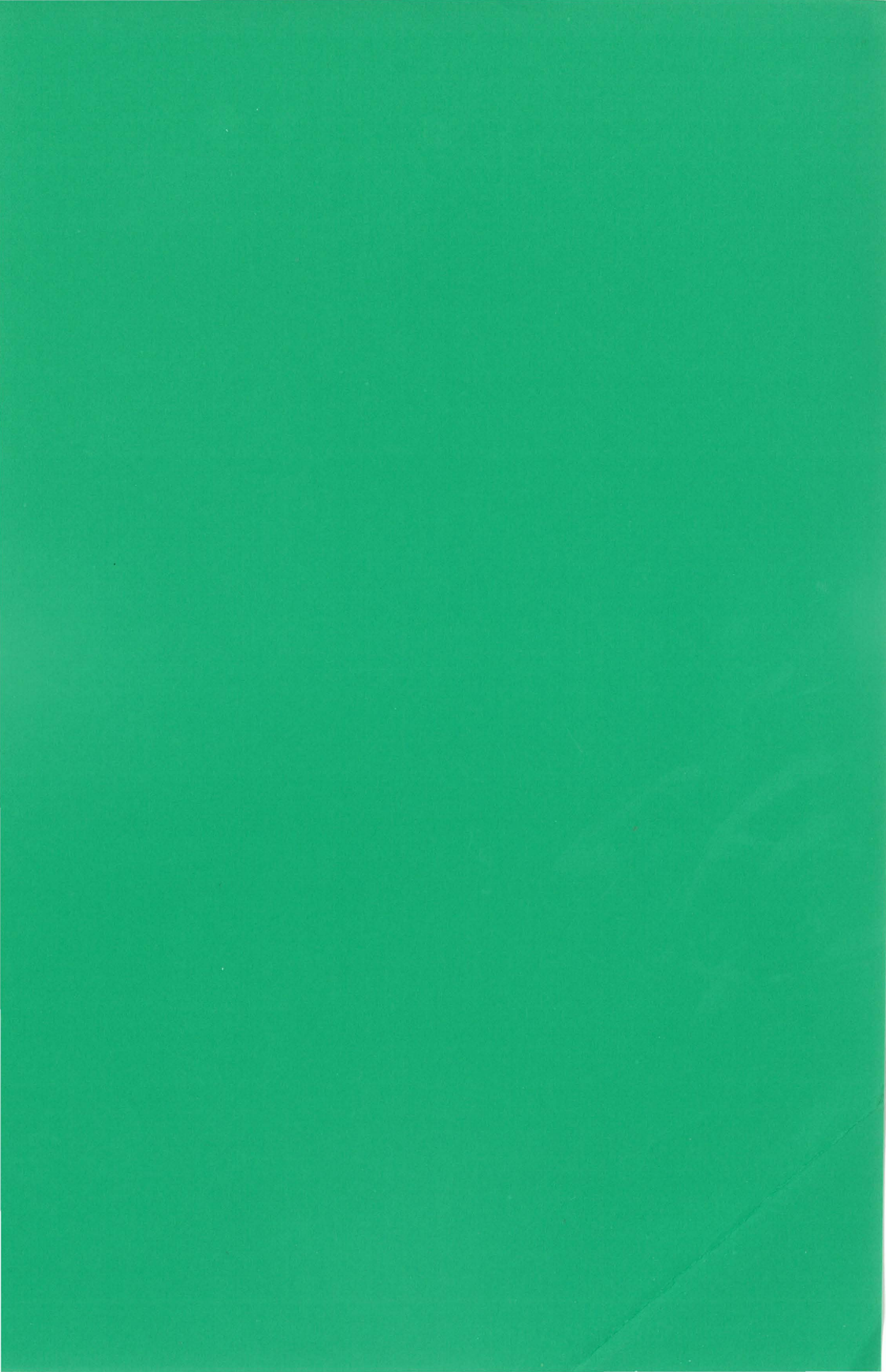
Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst. för markvetenskap.

Avd. för lantbrukets hydroteknik. STENCILTRYCK

Förteckning över stenciltryck 1-100 utkomna på försöksavd. för hydroteknik kan erhållas efter rekvisition till följande adress:

Försöksavd. f. hydroteknik  
Sveriges Lantbruksuniversitet  
750 07 UPPSALA 7

- Nr 101 Berglund, G., Johansson, W., Eriksson, J. och Linnér, H. 1977.  
Resultat av 1976 års täckdiknings-, bevattnings- och kalknings-  
försök.
- Nr 102 Berglund, G. 1977. Mikroaggregatanalysen som testmetod vid strukturkalk-  
ning.
- Nr 103 Persson, R. 1977. Skorpbildning på struktursvaga jordar vid olika be-  
vattningsintensitet och droppstorlek.



Denna skriftserie, benämnd Stenciltryck, utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik vid Institutionen för markvetenskap. Serien utkommer i fri följd och innehåller undersökningsresultat, som av olika anledningar ej befunnits möjligt att framlägga i tryck, exempelvis i den från institutionen utgivna tidskriften Grundförbättring.

Serien finns tillgänglig vid avdelningen, och kan i mån av tillgång erhållas därifrån.

Adress: Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik, 750 07 Uppsala 7.

Address: The Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Soil Sciences, Div. of Agr. Hydrotechnics, S-750 07 Uppsala 7, Sweden.