

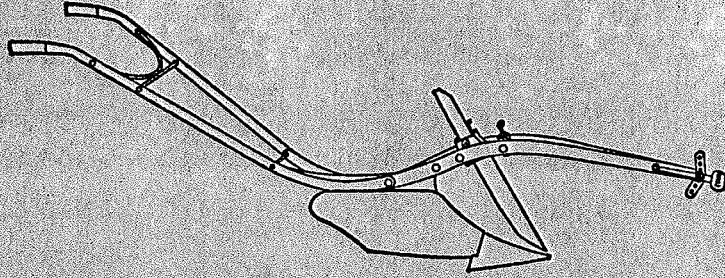
Lantbrukshögskolan

UPPSALA

RAPPORTER FRÅN --- --- JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Agricultural College of Sweden, S-750 07 Uppsala

Reports from the Division of Soil Management



Nr 31

1972

Peter Edling,
Lennart Fergedal

MODELLFÖRSÖK MED JORDPACKNING
1968-69

UDK-nummer: 631.431.7.

Lantbrukshögskolan, 750 07 Uppsala 7.

Rapporter från jordbearbetnings-
avdelningen.

Nr. 31. 1972.

Peter Edling,

Lennart Fergedal:

MODELLFÖRSÖK MED JORDPACKNING 1968-69

Innehållsförteckning

	<u>Sid.</u>
1. Inledning	2
2. Litteraturöversikt	3
2.1. Packningens uppkomst	3
2.2. Packningens effekt på markens fysikaliska egenskaper	7
2.2.1. Verkan på markens mekaniska motstånd mot rotframträngning	8
2.2.2. Verkan på luftväxlingen i marken	9
2.2.3. Verkan på markens vattenhushållning	11
2.2.4. Verkan på markens värmemagasinering och -ledningsförmåga	11
2.3. Ekologiska effekter av packning	12
3. Försök	13
3.1. Försöksplaner	13
3.2. Försöksplatser	13
3.3. Anläggning och skötsel av försöken	24
3.4. Mätningar och observationer	27
3.4.1. Väderlek och bevattning	27
3.4.2. Markytans höjdförändringar	27
3.4.3. Volymrelationer i matjorden	27
3.4.4. Skörd	45
4. Särskilda undersökningar av packningens inverkan på jordens hållfasthet och vattengenomsläpplighet	45
4.1. Vingbormmätningar på olika packad jord	45
4.2. Dragmotståndsmätningar på olika packad jord	55
4.3. Vattengenomsläpplighetsmätningar på olika packad jord	55
5. Diskussion	60
5.1. Allmänna kommentarer	60
5.2. Slutdiskussion och sammanfattning	64
6. Litteraturförteckning	68

1. Inledning

Den tekniska utvecklingen gör att jordbruksjordarna belastas med allt fler och tyngre maskiner. Detta gäller för övrigt också skogsjordarna. Den vägsträcka som per år och hektar tillryggalägges på fälten i normal jordbruksdrift kan uppgå till 5 mil (Moberg och Eriksson 1966). Detta innebär att varje punkt blir befaren av tungt belastade hjul upp till sju gånger årligen (Håkansson 1965). Trafiken medför, att jorden blir mer förtätad än den annars skulle ha varit. En trafiktopp inträffar under vårbruket då normalt 5-8 tätt på varandra följande operationer följer, harvningar, gödsling, sådd och vältning. Den livliga trafiken under vårbruket gör, att markytan sätter sig, varligtvis omkring tre centimeter (Håkansson 1966). Dessutom företages vårbruket i regel vid den vattenhalt i jorden, då packningsbenägenheten är maximal (Bertilsson 1969). Packningen, eller förtätningen, ändrar markens fysikaliska egenskaper såsom bärighet, hållfasthet, luft-, temperatur- och vattenhushållning. Genom dessa förändringar påverkas jorden som underlag för odling.

Förändringarna av jordbruksdriften i vårt land under efterkrigstiden, såsom t.ex. utvidgning av spannmålsarealen på vallens bekostnad, medför också ökade påfrestningar på jordarna genom att större arealandel årligen behöver jordbearbetas. Troligtvis gör också den, av det kreaturslösa jordbruket orsakade, minskande tillförseln av mullråämnen, att markens fysikaliska egenskaper försämras. På lättare jordar blir det direkta effekter genom att vattenmagasineringsförmågan försämras, på styvare indirekta, bl.a. genom att packningskänsligheten ökar.

Utöver hopprensning av jorden under belastade hjul förekommer en annan negativ effekt av trafikering och jordbearbetning. Slirning ger upphov till smetning och liknande mekaniska påkänningar, som med ett gemensamt namn brukar kallas ältning. I den totala effekten av det moderna jordbruket på jordarnas produktionsförmåga är ältningens verkningar en del, som noga räknat skall skiljas från verkan av ren belastning. I dagligt tal görs dock ingen distinktion mellan dessa begrepp.

I försök med olika packningsgrader, som utförts i olika delar av världen, har såväl positiva som negativa effekter av packning konstaterats. Inom ramen för verksamheten vid Avdelningen för Jordbearbetning har en rad försöksserier med anknytning till packningsproblemet igångsatts, varav somliga är avslutade och somliga fortgående. Under åren 1968 och 1969 utfördes vid avdelningen en serie om sju modellförsök med olika packningsgrader i matjorden. I dessa försök har endast effekten av be-

lastning av markytan undersökts. Någon ältning har icke avsiktligt förekommit. Försöken har dels legat i Uppland (tre st), dels i Skåne (fyra st). Lennart Fergedal har svarat för genomförandet av huvuddelen av försöksprogrammet (sex försök). För ett försök (Kungsängen -68) samt utarbetandet av denna redovisning har Peter Edling svarat.

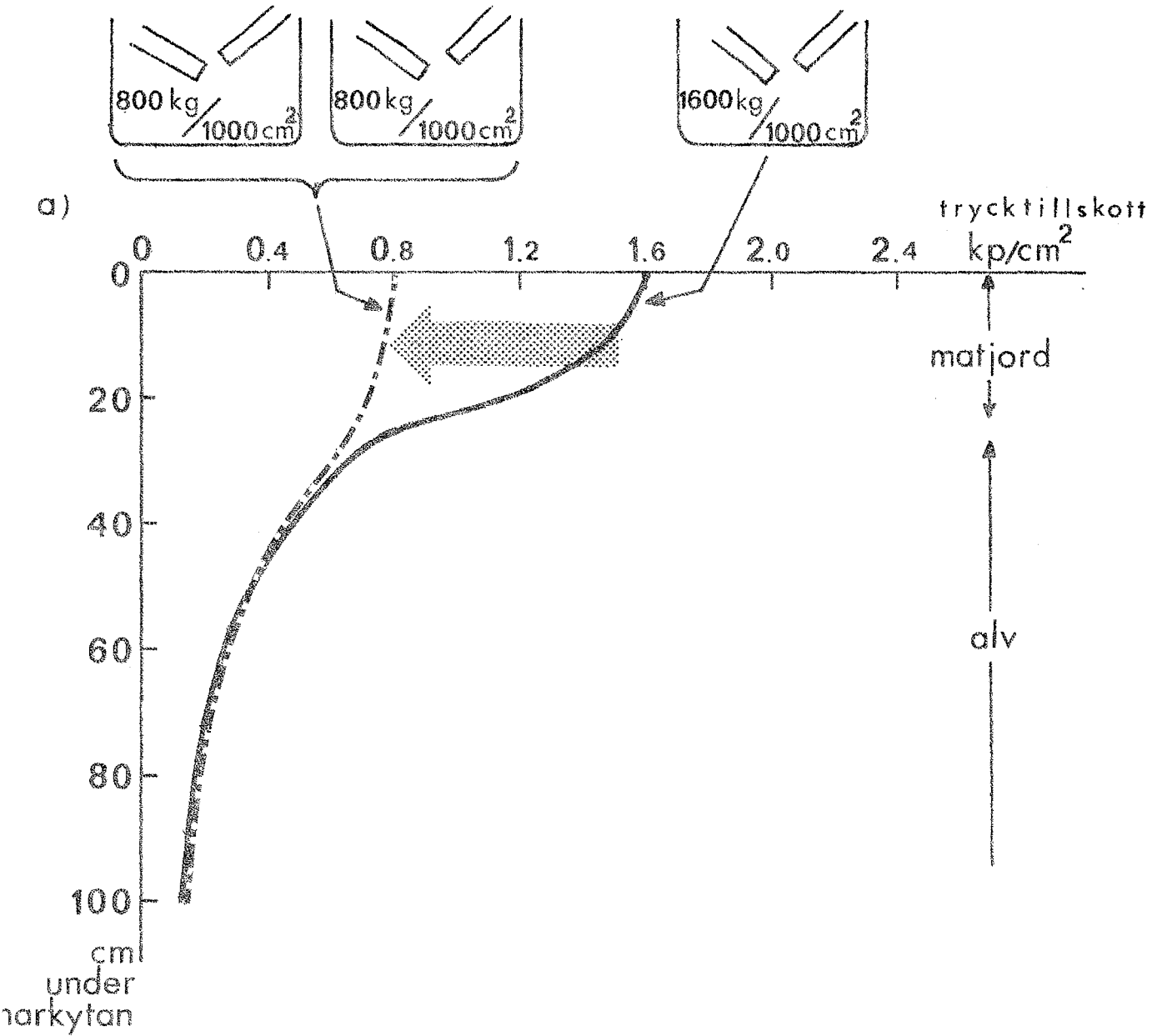
Arbetet utgör en del av forskningsprojektet "Undersökningar av en varierad jordpackning under höst och vår och dess betydelse för skördeutfallet samt av sambanden mellan hjulutrustning och jordpackning", som har planerats av Samarbetskommittén för jordbearbetning och finansierats genom anslag från Statens råd för skogs- och jordbruksforskning. Författarna riktar till professor Reijo Heinonen, Avd. för jordbearbetning, ett varmt tack för stöd och uppmuntran.

2. Litteraturöversikt

2.1. Packningens uppkomst

Ett hästtramp orsakar högt specifikt marktryck men täcker endast en ringa del av den bearbetade ytan. Den allmänna erfarenheten har varit, att hästtramp ej medför några markskador. Av praktikens män har det dock meddelats författarna, att man på vissa jordar kunnat iakttaga, att markytan i själva trampet hållit sig fuktig längre tid efter ett regn än den omgivande markytan, vilket tyder på att markens fysikaliska egenskaper ändras även av hästtramp. Emellertid har den tekniska och ekonomiska utvecklingen gjort, att hästtramp ej längre förekommer på våra jordar. I dag har många jordbruksföretag traktorer som väger 5-7 ton och skördemaskiner som med last kan väga 7 à 8 ton. Dessa maskiner orsakar, såsom inledningsvis påtalats, en förtätning av marken. Förtätningens utbredning beror dels av hur trycket distribueras, dels av jordlagrens packningsbenägenhet. Tryckfördelningen kan åskådliggöras genom trycktilskottsdiagram, se figur 1.

Belastningen av marken kan antingen vara statisk eller dynamisk. Den statiska belastningen är konstant, under det att den dynamiska varierar på grund av vibrationer av olika slag. Vid samma tryck verkar dynamisk belastning mer förtätande än statisk. Förtätningarna uppkommer genom hoptryckning av friktionssystem, enkelkornjordar, d.v.s. utan omformning av markpartiklarna, och genom plastisk deformation av kohesionssystem, aggregerade jordar, d.v.s. med omformning av sekundära partiklar, aggregat. I kohesionssystemen innebär deformationen av aggregaten att primärpartiklarnas inbördes läge förändras.



Figur 1. Exempel på trycktillskottens storlek i markprofilen vid enkel och dubbelmonterade bakhjul på en traktor. Efter Eriksson (1971).

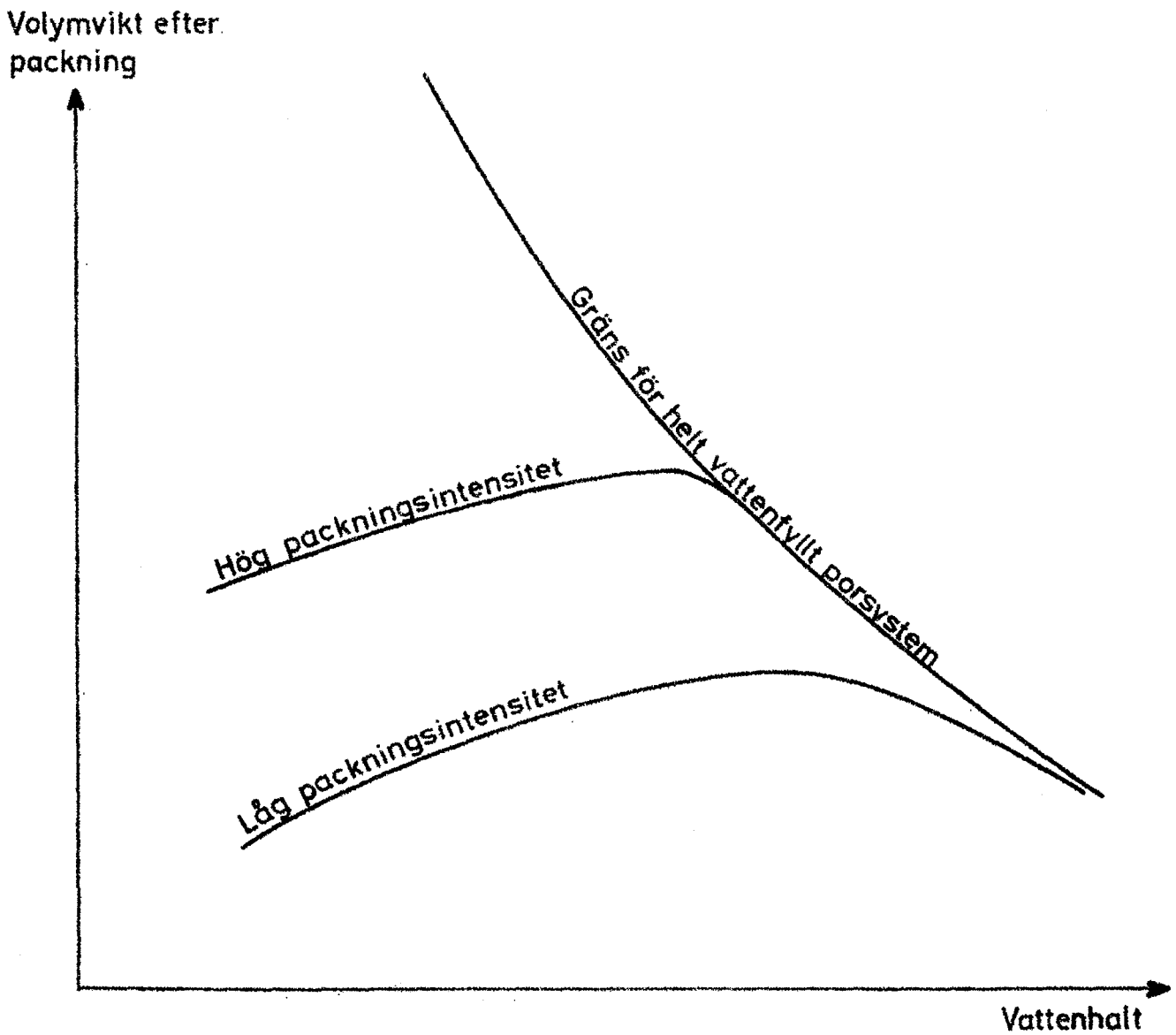
Förtättningsgraden vid viss belastning bestäms av bindningskrafterna mellan primärpartiklar och mellan aggregat. Bindningskrafternas storlek bestäms av systemets textur, lermineralens svällningsegenskaper, art och lagring, övriga mineralpartiklars art, form och lagring, adsorberade joner, porositet, vattenhalt, mullhalt o.s.v. (Feuerlein 1961).

På en viss lokal är jordmaterialets specifika egenskaper bestämda och ger så att säga lokalens grundegenskaper visavi packning. Adsorberade joner, porositet, vattenhalt, mullhalt m.fl. varierbara faktorer bidrar sedan till att ge den aktuella packningskänsligheten. Av de varierande faktorerna är vattenhalten den vars verkningar på jordens packningskänslighet är mest uppenbar. Under förutsättning av att endast slutporositeten betraktas har de flesta jordar för en given belastning ett volymminskningssmaximum vid viss vattenhalt. Ju högre vattenhalt marken har, desto lägre blir sammanhållningen mellan markpartiklarna. Enkelkornen förskjutes och aggregaten deformeras allt lättare, varför den resulterande packningsgraden ökar med ökande vattenhalt. Då vattenhalten ökar till en viss gräns blir emellertid vattnet i porerna bärande, på grund av att vattnet icke är kompressibelt (Proctor 1933). Det finns allt mindre luftfyllda hålrum som kan komprimeras kvar, vilket medför att volymminskningen avtar. Volymminskningens storlek som funktion av vattenhalten ger alltså en maximikurva, se fig. 2. Det bör emellertid observeras, att även om volymminskningen i jordmassan under en belastning är liten då vattenmättnadsgraden är stor, kan resultatet av trafikering bli förskräckande. Bärigheten som sådan blir obetydlig, med väldig spårbildning som följd även om belastningen i och för sig icke minskar volymer av jorden. Ältningsbenägenheten ökar också.

Givetvis har också utgångsporositeten den största betydelse för volymminskningens storlek. Man har konstaterat, att porositeten efter packning är tämligen oberoende av utgångsporositeten. Hoptryckningen orsakad av en viss last ökar alltså med ökande utgångsporositet även om inte slutresultatet påverkas (Feuerlein 1961).

Jordens innehåll av humus och adsorberade joner påverkar också markens förmåga att motstå belastning. Hög humushalt och t.ex. hög Ca^{2+} -mättnadsgrad förbättrar aggregerade markpartiklars möjlighet att uppbära belastning. Humus verkar troligtvis elasticitetshöjande. Ca^{2+} anses öka kohe-sionskrafternas storlek.

Olika jordars förmåga att genom bearbetningsåtgärder återtaga en önskad struktur är mycket olika. Friktionsjordarna, d.v.s. sand- och mojordarna



Figur 2. Packningsbenägenhetens beroende av vattenhalten
(efter Proctor 1933)

är lätta att återföra i en lämplig struktur genom bearbetning. Kohesionsjordarna, d.v.s. lerjordarna kan däremot vara besvärliga att behandla genom bearbetning. Vid olämpligt valt bearbetningstillfälle kan skadan t.o.m. förvärras. Kohesionsjordarna regenereras säkrast genom naturens egna krafter, frost- och torkeffekter (Koenigs 1963).

Under fältförhållanden har arbetets organisation, val av arbetsfordon och redskap, växtodlingens inriktning och markens aktuella tillstånd stor betydelse för den resulterande packningen. Genom lämpligt val av grödor, redskap, hjulutrustning och organisation kan packningen under kritiska perioder nedbringas. Under själva vårbruket blir varje punkt av ett fält i medeltal överkört minst en gång. Endast c:a 25 % av fältytan förblir helt obefaren av traktorernas bakhjul, ehuru andra mindre tungt belastade hjul kan gå däröver (Håkansson 1965). Det har då antagits, att sex à sju operationer utföres. Om man genom ny teknik, till exempel höstharvning och bättre vårbruksredskap, kan nedbringa antalet körningar under våren till tre, kommer 50 % av fältytan att vara obefaren av traktorns bakhjul. Detta betyder en avsevärd minskning av påfrestningarna på fältet. Det betyder också, att de strukturuppbyggande processerna, frost, torka, mikroorganismer och rötter får större möjlighet att angripa förtätningarna utifrån opåverkade jordvolymen.

En olägenhet av packningen är, att den träffar fältet ojämnt.

Detta medför att jordbearbetningsredskapen kommer att arbeta ojämnt. I kombination med förhållandet att packning i och för sig påverkar grödans utveckling kan detta orsaka att vegetationen på fältet utvecklas ojämnt.

Ett sätt att minska trafikeringen av åkermarken under den kritiska vårperioden är ökad odling av övervintrande grödor, höstsäd, höstoljeväxter, fröodlingar och vallar.

2.2. Packningens effekt på markens fysikaliska egenskaper

Jordens värde som underlag för växtproduktion bestäms av i vilken utsträckning växtens rötter kan förses med vatten, luft och näring.

Packningens effekt som ekologisk faktor bestäms av hur jordens möjligheter att försörja växten med de nämnda produkterna förändras. Packning påverkar jordens mekaniska egenskaper, dess vatten- och värmehushållning samt luftväxlingen i marken. Förändringarna

i jordens fysikaliska egenskaper kan sekundärt också påverka mikrobilivet och den kemiska miljön. Till en viss gräns kan packning verka gynnsamt på vegetationen. Vid denna gräns blir en eller flera av de nämnda faktorerna begränsande, antingen direkt eller indirekt, varvid

rotfunktionerna försämras.

2.2.1. Verkan på markens mekaniska motstånd mot rotframträngning

Under gynnsamma omständigheter utvecklar en växt ett mer eller mindre typiskt rotsystem (Wiklert 1961). I en förtätad jord blir rotutvecklingen ofta tillbakasatt. Som skäl brukar anföras mekaniskt motstånd mot rotframträngning.

Huruvida ett mekaniskt hinder kan klaras av en rot beror dels på de krafter som kan utvecklas av roten, dels på de krafter som är nödvändiga för att övervinna hindret (Schuurmann 1965). Vid experimentella undersökningar har olika värden erhållits för det maximala tryck som kan utövas av växande rötter. Tryck på 10 och under vissa omständigheter 20 atmosfärer axiellt och 5 radiellt har uppmätts (Pfeffer 1893). Då roten möter ett hinder, upphör tillväxten till att börja med. Under uppehållet byggs det erforderliga trycket upp, troligtvis genom osmotiska processer, varefter tillväxten fortsätter om hindret kan övervinnas. För att stort axiellt rottryck skall uppnås måste omgivningens radiella tryck vara stort, annars böjer roten av åt sidan. Roten söker sig nämligen hela tiden fram efter minsta motståndets väg. Därför är de naturliga rotvägarna i marken sprickor, gamla rotkanaler samt maskgångar. Det faktum, att stort radiellt rottryck måste kunna mobiliseras för att ett mekaniskt hinder skall kunna övervinnas betyder att skiktningar i jorden minskar rötternas möjlighet att tränga genom förtätningar. Dels utbildas fler birötter i det luckrare skiktet, vilket kan leda till att huvudrotens tillväxt avtar (Greacen et al. 1968), dels får inte rötterna erforderligt stöd av det luckrare lagret vid försök till nedträngning i det tätare.

Roten kan inte tränga igenom ett stelt system vars porer har dimensioner under vissa kritiska värden. Rötterna kan inte kontrahera. När roten inte förmår skapa passager med en viss minsta diameter upphör dess tillväxt (Wiersum 1957).

Mekaniskt motstånd mot rotframträngning kan beträffande exploatering av markprofilen yttra sig på två sätt. Dels kan rötternas tillväxt i viss riktning helt upphöra, t.ex. när de trängt ned till en förtätning, dels kan vissa delar, såsom särskilt förtätade klumpar, vara helt otillgängliga för rötterna, ehuru de kan växa i sprickor och kanaler runt klumparna.

Vid studier av mekaniskt motstånd mot rotframträngning har flera olika metoder använts. Man har varierat motståndet mot rotframträngning ge-

nom olika volymvikt hos jordmaterialet (Schuurmann 1965, Taylor et al. 1966 a och -66 b, Taylor och Gardner 1960), vaxlager, sand i smala glasrör eller speciella apparater (Barley 1963, Gardner och Danielsson 1964, Gill och Miller 1956, Wiersum 1957). Resultaten tyder på att rottillväxten som funktion av mekaniskt motstånd i marken förenklat kan representeras av en rät linje. Rottillväxten avtager redan för små motståndsökningar men upphör helt först vid stora (Gill och Miller 1956). Rottillväxten kan också upphöra vid relativt små mekaniska motstånd om roten samtidigt har att kämpa med dålig vatten- eller syreförsörjning.

2.2.2. Verkan på luftväxlingen i marken

Baver (1956) säger i sin lärobok "Soil Physics" att "nedsatt syreförsörjning är den mest begränsande faktorn för utveckling av normala rotsystem". För sin essentiella aeroba andning är rötterna beroende av syre i vissa kvantiteter. Vid syrebristsjunker energiutbytet i andningsprocessen samtidigt som diverse mer eller mindre giftiga restsubstanter börjar frigöras. Detta minskar rötternas förmåga att övervinna mekaniskt motstånd samt deras vatten- och näringsupptagande.

Markluften omsätts genom diffusion och strömning. Diffusionen orsakas av partialtrycksgradienter som uppkommer när de levande organismerna i marken förbrukar syre och alstrar kolsyra. Masstransporterna sker under inflytande av totaltrycksändringar, som kan orsakas av lufttrycksvängningar, den dagliga temperaturvågen i marken, vind som sveper över markytan samt rörelser i markvattnet. Masstransporterna (konvektionen) anses inte ha någon direkt betydelse för de djupare lagrens ventilation (Romell 1922). Ytligt och i större kanaler kan dock konvektionsströmmar komma till stånd (Holmes et al. 1960), vilka indirekt kan påverka luftväxlingen i djupare lager (Currie 1971, Edling opubl. unders.).

För såväl diffusion som masstransport gäller formeln $\frac{dq}{dt} = K \cdot A \cdot \frac{dp}{dx}$ där dq är den momentant transporterade gasmassan

K en transportkonstant

A den betraktade tvärsnittsytan samt

dp/dx partial- eller totaltrycksgradienten.

Konstanten K är olika för diffusion och masstransport. För diffusion gäller starkt förenklat, att K, som då kallas diffusionskoefficienten, D, är proportionell mot luftledningarnas sammanlagda tvärsnittsytan. Masstransporterna däremot, för vilka K kallas permeabilitetskoefficienten, k, är dels proportionella mot ledningarnas tvärsnittsytan, dels

mot ledningarnas radie. En packning medför i de flesta fall, att porvolymen i det belastade jordlagret minskar. Eftersom vare sig det fasta materialet eller vattnet kan komprimeras måste packningen gå ut över luftvolymen. De luftförande porernas antal och storlek minskar. Enligt vad som sagts ovan måste då såväl diffusions- som masstransporterna minska. Diffusionstransporternas relativa minskning blir dock enligt teorin mindre än masstransporternas. Detta beror på, att packningen i stor utsträckning går ut över makroporsystemet, som har störst betydelse som ledare för masstransporter. Dessa teoretiskt lätt påvisade förhållande har belagts med långa rader experiment (Buckingham 1904, Romell 1922, Penman 1940, Currie 1960, Edling opubl. unders.).

Det bör också observeras, att även i väl ventilerad jord förekommer partier med otillfredsställande syreförsörjning. Exempelvis vissa lerjordar torde regelmässigt ha aerob och anaerob miljö blandade i en mosaik. Inuti vattenfyllda aggregat blir situationen anaerob men i anslutning till luftkanalerna aerob. Vid experiment med gastransport i naturligt lagrade jordar kommer detta också till uttryck i kraftig spridning av resultaten från olika prover med samma förbehandling (paralleller) (Blake & Page 1948, Edling opubl. unders.).

Man har experimentellt kunnat påvisa, att rötterna för att leva normalt bör ha nära kontakt med luft med minst 8 à 10 procent syre (Cannon 1925). I allmänhet kan denna syrekoncentration uppehållas så länge den luftfyllda porvolymen inte understiger 5-10 volymsprocent. Det bör också observeras, att olika växter är olika känsliga för nedsatt luftväxling i marken. Resultatet av syrebrist i marken, nedsatt frigörelse av energi i rötterna och anrikning av giftiga restprodukter, orsakar primärt att rötternas funktioner avtager. Sekundärt medför detta, att hela växten blir lidande. Närings- och vattentransporten genom växten hejdas. Paradoxalt nog är en av effekterna av otillfredsställande syreförsörjning till rötterna, att växten vissnar! (Romell 1922).

Syrgassituationen i jorden påverkar också mikrovärlden. Sålunda har man t.ex. funnit, att nematoder och rotdödarsvampar, i likhet med de högre växterna, gynnas av god syreförsörjning. Detta kan förefalla att vara en nackdel. I själva verket torde det dock vara så, att de högre växterna lättare dukar under för ett svagt sjukdomsangrepp om de är tillbakasatta av syrebrist i marken än för ett svårare angrepp vid normala rotfunktioner.

Svag syreförsörjning orsakar också denitrifikation och bildande av diverse icke önskvärda kolväten. Många växtgiftiga substanser bildas också

under normala förhållanden, ehuru de då raskt bryts ner vidare. Vid anaerobt tillstånd kan de anrikas, emedan den vidare transformationen ofta måste förlöpa aerobt (Se t.ex. Romell 1922).

2.2.3. Verkan på markens vattenhushållning

Genom att packningen förändrar det påverkade lagrets porstorleksfördelning ändras markens vattenmagasinerings- och permeabilitetsegenskaper. Volymsmässigt är det i första hand de grova porerna som påverkas. Eftersom dessa i stor utsträckning är bestämmande för markens genomsläpplighet, kan verkan av en packning bli drastisk. Genomsläppligheten kan i en packningsbenägen jord gå ned till praktiskt taget ingenting. Under fuktiga förhållanden blir detta ödesdigert. Markens bärighet minskar och vegetationens rötter kan ej försörjas med syre.

Beträffande de minsta porerna påverkas dessa ej i samma grad som de grövre av packningen. Emellertid måste nya mindre porer bildas av de större som pressas samman. Detta medför vissa förändringar i vattenmagasineringsegenskaperna. Kommer dessutom ältning in i bilden blir förändringarna i vattenmagasineringen stora, ty vid ältning förändras också markens mikrostruktur (Koenigs 1960). Inverkan av packning på jordarnas magasineringsförmåga är ytterst komplicerad och det är tveksamt om några generella resultat av packningen kan anges. I de flesta fall torde effekten på det för växterna tillgängliga vattenmagasinet, bestämmas av i vilken grad packningen har omöjliggjort rotutvecklingen och därmed exploateringen av vattenmagasinet i marken. De förändringar i det växttillgängliga vattenförrådets storlek, uppkomna genom olika packningsgrader, som rapporterats i litteraturen torde i och för sig ha ytterst marginell effekt på skördens storlek (Hill och Summer 1967).

2.2.4. Verkan på markens värmemagasinerings- och -ledningsförmåga

Packning får till följd, att de enskilda markpartiklarna bringas i tätare lagring, d.v.s. kontaktytorna blir större, och att vattenhalten i volymprocent ökar. Detta medför, att markens värmeledningsförmåga ökar. Det orsakar emellertid också, att dess täthet och specifika värme ökar. Sammantaget blir resultatet, att markens termiska diffusivitet ökar vid en förtätning (Se t.ex. monografen *Compaction of Agricultural Soils*). Då den termiska diffusiviteten ökar, växer flödet av värme. Resultatet blir, att temperaturens dygnsamplitud teoretiskt sett ökar. I fält blir emellertid förhållandena ofta mer komplicerade på grund av att markprofilen är uppdelad i olika lager. Sålunda kan packning av ett torrt och luckert ytlager under vissa omständigheter leda till sänkt amplitud i detta. Denna

skenbara motsägelse till vad som ovan sagts beror på, att extremiteterna i ytlagret orsakas av in- och utstrålning. Värmeutbytet mellan ytlagret och nedanför liggande jordlager blir obetydligt p.g.a. obetydlig termisk diffusivitet i det torra och luckra ytlagret. Därför får in- och utstrålningen oerhörd betydelse för ytlagrets temperatur. Genom packning förbättras ytlagrets termiska diffusivitet. Härigenom kan värme ledas till och från underliggande jordlager, vilket dämpar temperaturextremerna. I fält har detta förhållande använts till att häva nattfrosten samt för höga middagstemperaturer i ytlagret.

2.3. Ekologiska effekter av packning

Ovan har ett antal effekter av packning på markens fysikaliska egenskaper redovisats. Via dessa effekter får packningen växtekologisk betydelse. För att utröna hur vegetationen påverkas har en lång rad experiment utförts. Resultaten av packning har ibland varit positiva, ibland negativa. Försöken har utförts i olika delar av världen. Många av de i den internationella litteraturen beskrivna försöken har utförts under jordarts- och väderleksbetingelser som är föga tillämpliga på våra förhållanden. Emellertid har åtskilliga försök utförts i Norden, huvudsakligen i Finland, Norge och Sverige (Larpes 1962, Njøs 1963, Olvegård 1965, Håkansson 1966, Håkansson och Fergedal 1970, Fergedal 1971). Effekterna av packning i dessa försök har varierat från positiva till negativa. Resultaten har varit en komplicerad funktion av jordart, packningsintensitet, packningstidpunkt och klimat. Mycket schematiskt kan man, beträffande den kortsiktiga effekten av packning, säga, att ökad lerhalt, ökad packningsintensitet, ökad markfuktighet vid packningstillfället och ökad humiditet förvärrar inverkan av packning. I figurerna 3 och 4 visas det principiella sambandet mellan packningsgrad och skörd för olika packningskänsliga jordar och för olika klimat. Det är tydligt, att det för varje kombination av lokal och väderlek finns en optimal packningsgrad.

Man har också undersökt den långsiktiga effekten av packning. I en försöksserie vid Avd. för Jordbearbetning, Uppsala 7, undersöker man verkan av varje höst återkommande packning och ältning. De hittills framkomna resultaten tyder på, att de negativa verkningarna av packningen ackumuleras till en viss gräns (Håkansson och Fergedal 1970).

Ett annat problem som har sysselsatt försöksmännen är slitningen mellan önskemålet om tidig sådd och minimal packning. Vid tidig sådd säkerställer man vattentillgången för det groende utsädet. Vattenhalten i marken är dock vanligtvis hög, varför spårbildning och tillsmetning blir resultatet av ett för tidigt vårbruk. Emellertid har det visat sig att dubbel-

monterade bakhjul på traktorerna är ett möjligt sätt att både så relativt tidigt och tämligen packningsfritt. Dubbelmonterade bakhjul bidrar dessutom genom sin stora sammanlagda bredd till att sprida spåren jämnt över fältet, vilket eliminerar en del av spårbildningsproblemet. Grödans utveckling blir jämnare (Fergedal 1971).

3. Försök

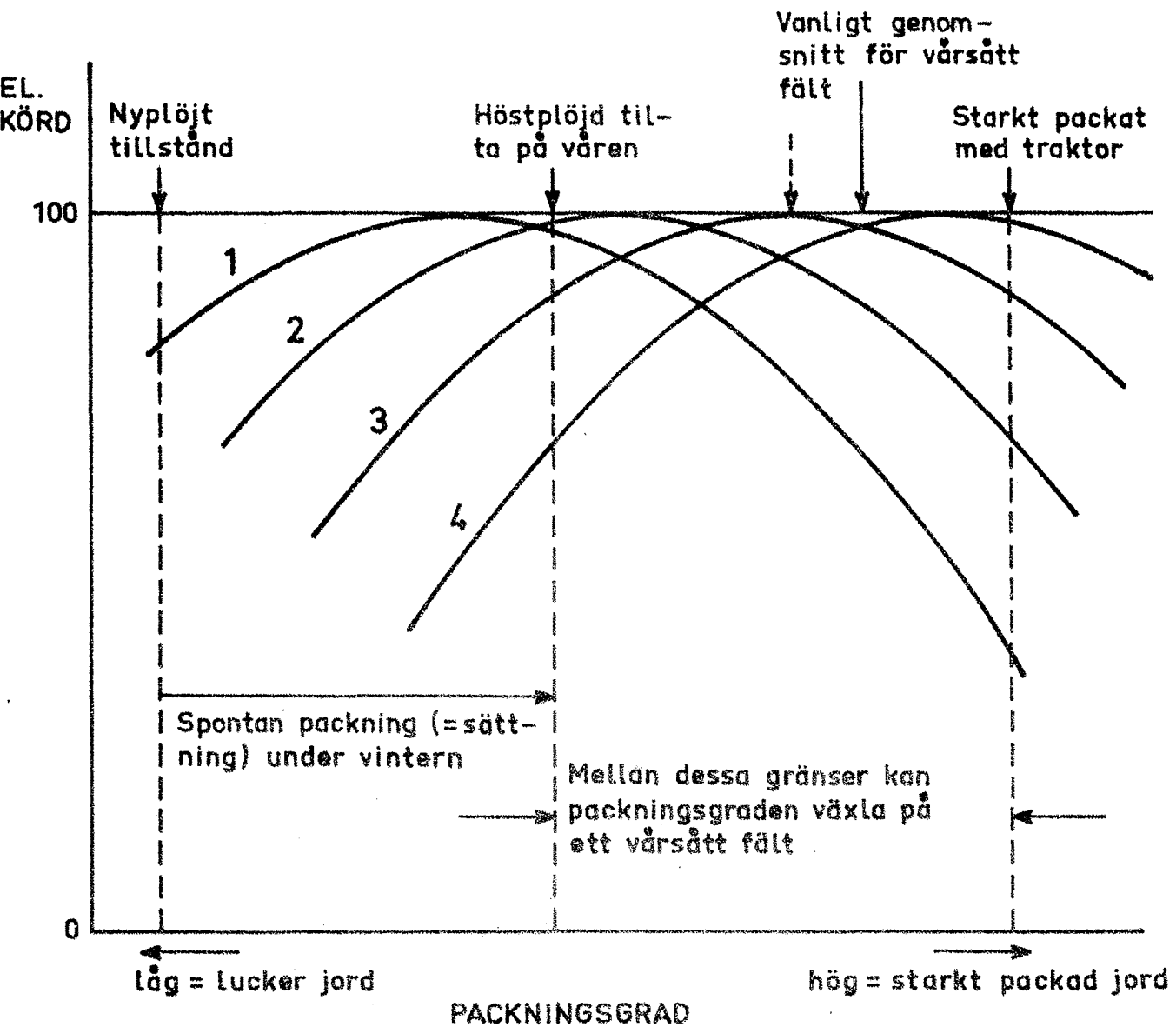
3.1. Försöksplaner

Försöken utfördes under åren 1968 och 1969. Under år 1968 användes försöksplanen F2-7203, se tabell 1. I denna plan ingick tre olika försommarklimat, torrt, normalt och vått, samt fyra olika packningsgrader i matjorden, luckring, ingen packning, måttlig packning och intensiv packning. Två försök utfördes enligt denna plan, ett på Kungsängen, Uppsala, och ett på Lönhult, Mjöhult. Emellertid tillåter denna försöksplan icke en godtagbar statistisk bearbetning. Nederbördsleden är nämligen systematiskt utlagda, ej slumpade, vilket statistikerna icke godtagger. Efter påpekande av Edling (1968) ändrades därför försöksplanen till 1969 års försök, varvid den fick nummer F2-7208, se tabell 1. I denna plan ingick tre olika försommarklimat, torrt, normalt och vått, samt fyra olika packningsgrader, ingen, lätt, måttlig och intensiv packning. Med denna plan utfördes fem försök, ett på Ultuna, Uppsala, ett på Fredrikslund, Uppsala, två på Lönhult, Mjöhult samt ett på Höghult, Mjöhult. Denna försöksplan tillåter en korrekt statistisk analys, ty inom blocken har nederbördsleden slumpats ut, varefter packningsleden slumpats inom nederbördsleden.

3.2. Försöksplatser

1968 års båda försöksplatser har underkastats en relativt fullständig fysikalisk profilanalys ned till 100 cm djup. Analysen har omfattat kornstorleksfördelning, aggregatstorleksfördelning, volymförhållanden och avsugningskurvor. Resultaten av dessa analyser visas för Kungsängen å figurerna 5-7 och för Lönhult å figurerna 8-10.

Beträffande 1969 års försöksplatser har dessa ej underkastats fullständig fysikalisk beskrivning. För dessa fem försöksplatser har endast kornstorleksfördelningen i matjorden samt vattenhalt vid 150 m.v.p. vattenavförande tryck fastställts. Resultaten av dessa analyser visas i tabell 2. Beträffande de fysikaliska egenskaperna hos markprofilen för 1969 års Ultunaförsök hänvisas till en fullständig beskrivning av en på c:a 150 m. avstånd från försöket belägen profil (Andersson och Wiklert 1959).



Figur 3. Principdiagram över sambandet mellan packningsgrad och skörd på ett vårsått fält. Efter Håkansson 1972.

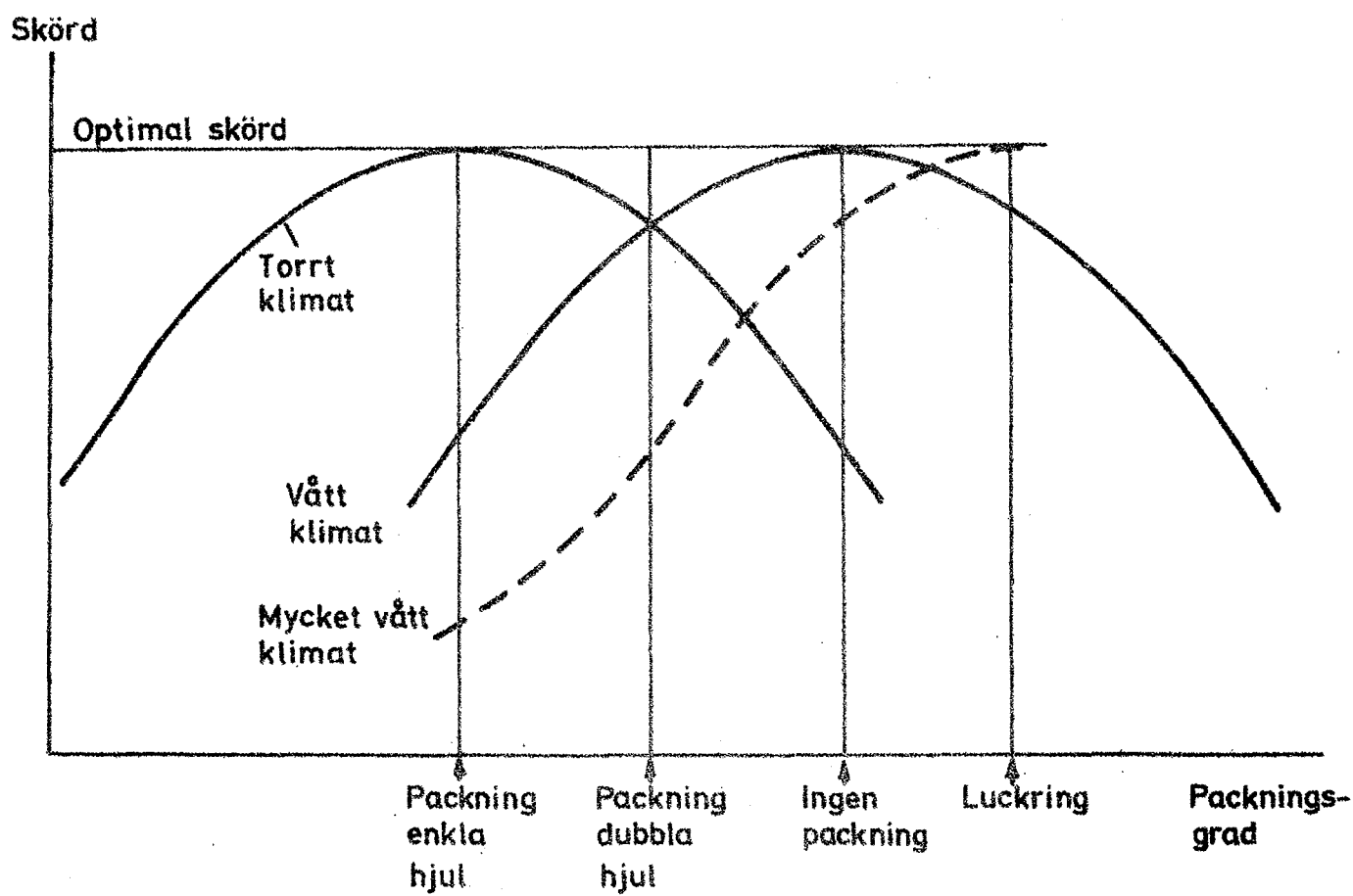


Fig. 4. Principdiagram över relationerna mellan markens packningsgrad och skörd under givna klimatbetingelser. (Efter Fergedal 1971).

Tabell 1. Försöksplan F2-7203, använd 1968 och F2-7208, använd 1969. För förklaring av symbolernas betydelse se text.

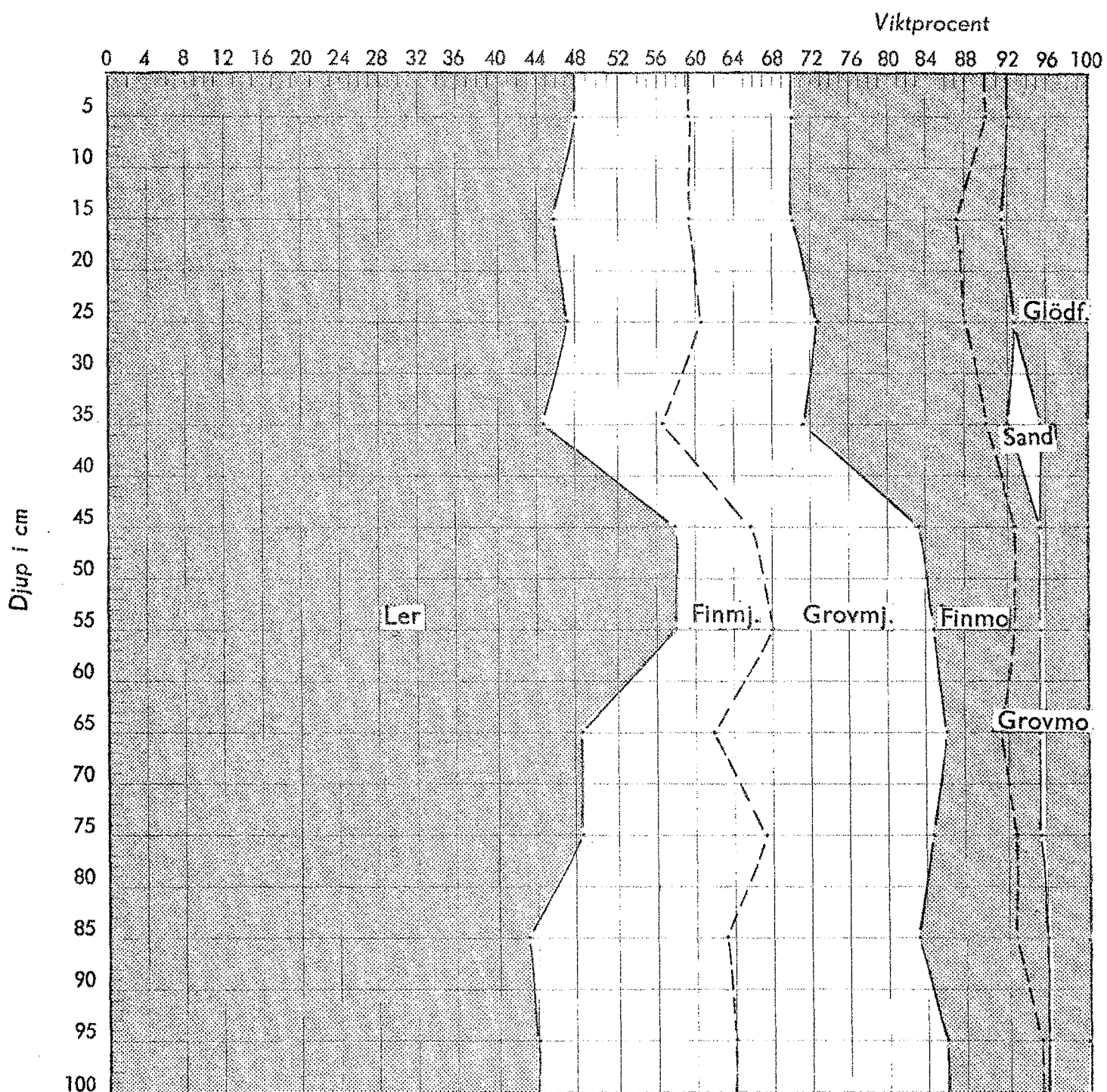
F2-7203

OT	P ₃ T	P ₂ T	LT	P ₃ V	P ₂ V	OV	LV	P ₃ T	LT	OT	P ₂ T
ON	P ₃ N	P ₂ N	LN	P ₃ N	P ₂ N	ON	LN	P ₃ N	LN	ON	P ₂ N
OV	P ₃ V	P ₂ V	LV	P ₃ T	P ₂ T	OT	LT	P ₃ V	LV	OV	P ₂ V

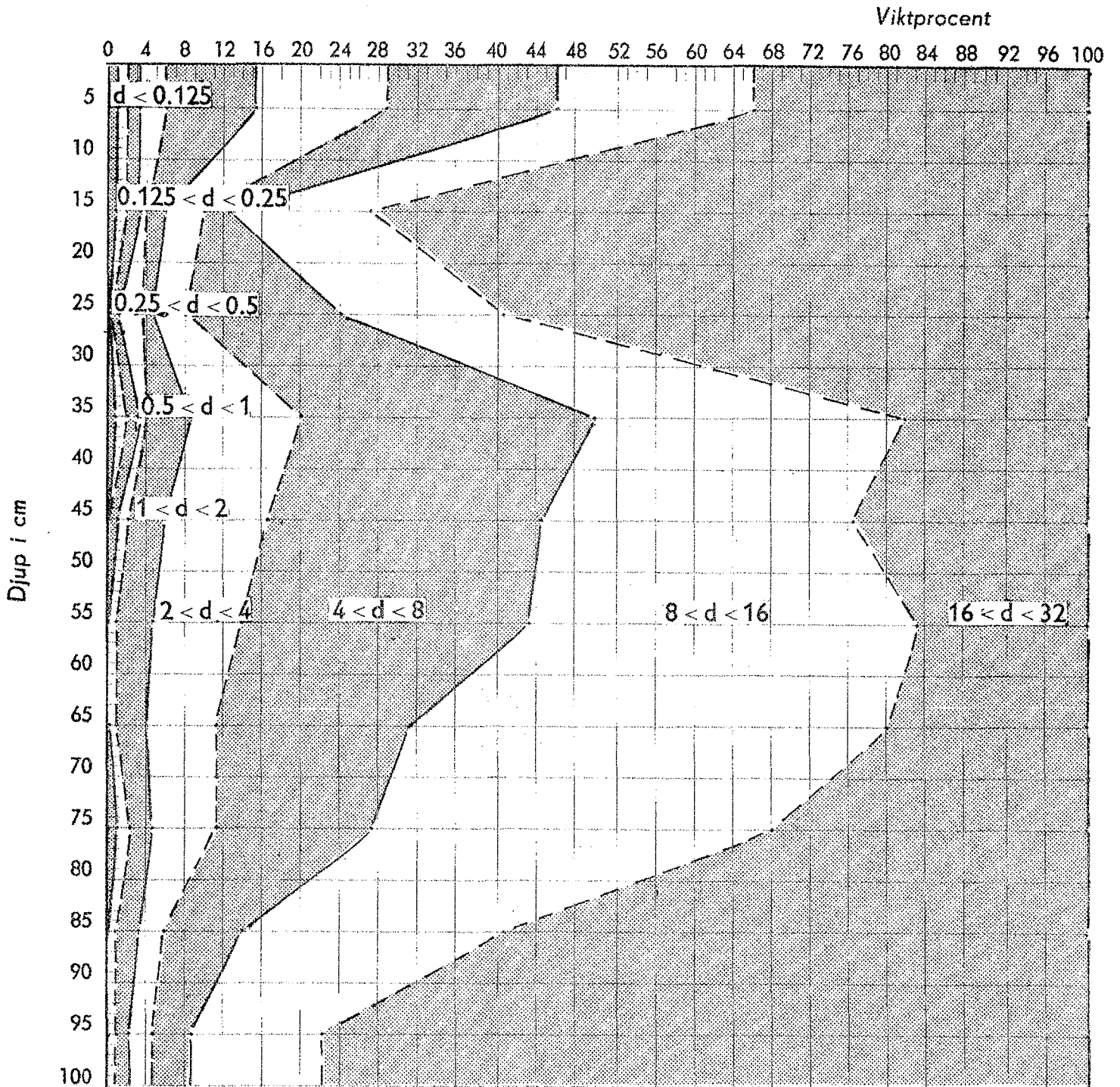
F2-7208

NP ₃	NP ₁	NP ₂	NO	VP ₁	VP ₂	VO	VP ₃	TP ₃	TP ₂	TO	TF ₁
TP	TP ₁	TP ₃	TO	NP ₂	NP ₃	NP ₁	NO	VP ₃	VP ₁	VO	VP ₂
TO	TP ₁	TP ₃	TP ₁	VO	VP ₁	VP ₂	VP ₃	NP ₃	NP ₁	NP ₂	NO

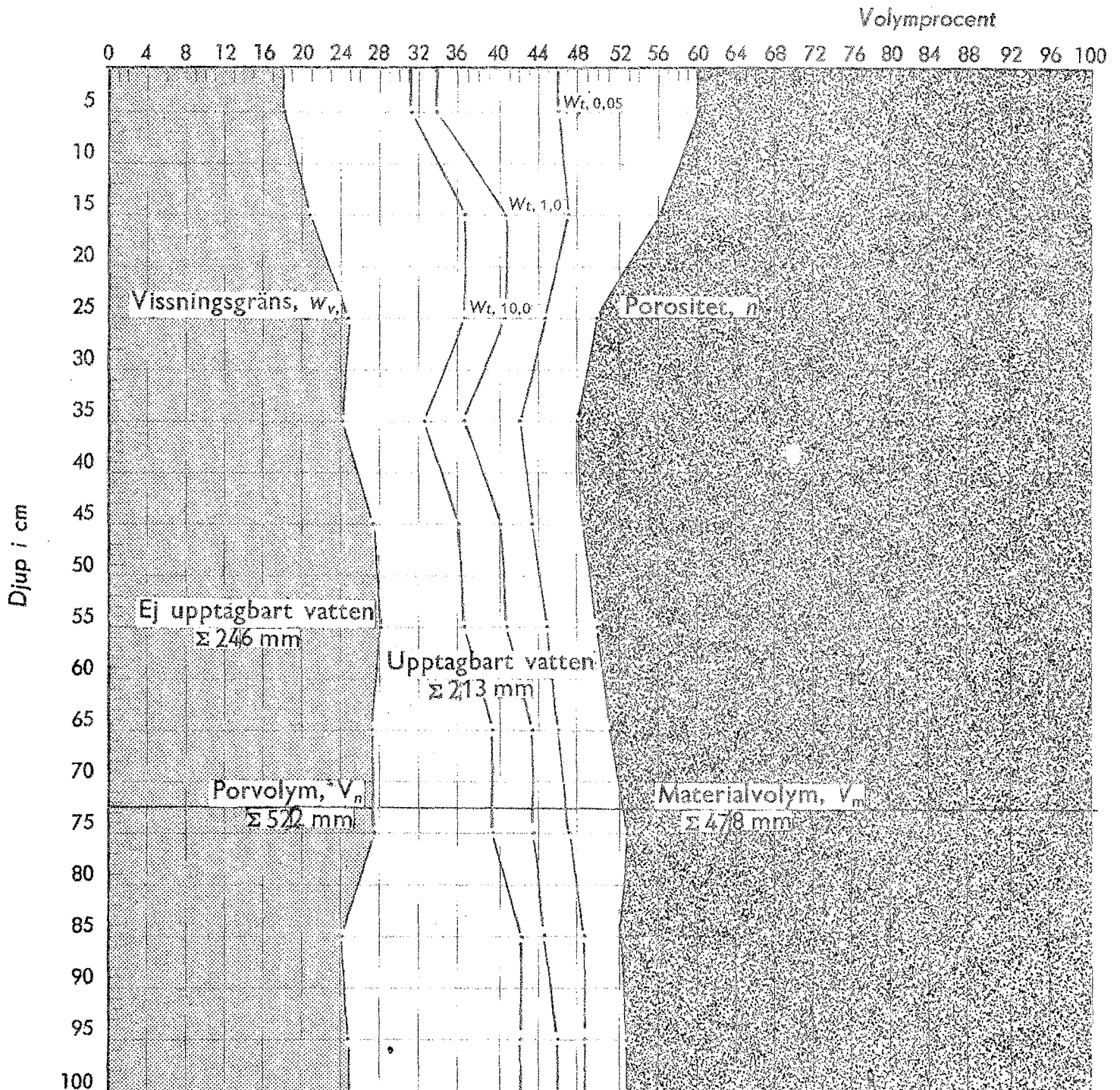
Figur 5. Kungsängen nr 2, 1968. Diagram över kornstorleksfördelningen i profilen, s.k. ψ -diagram.



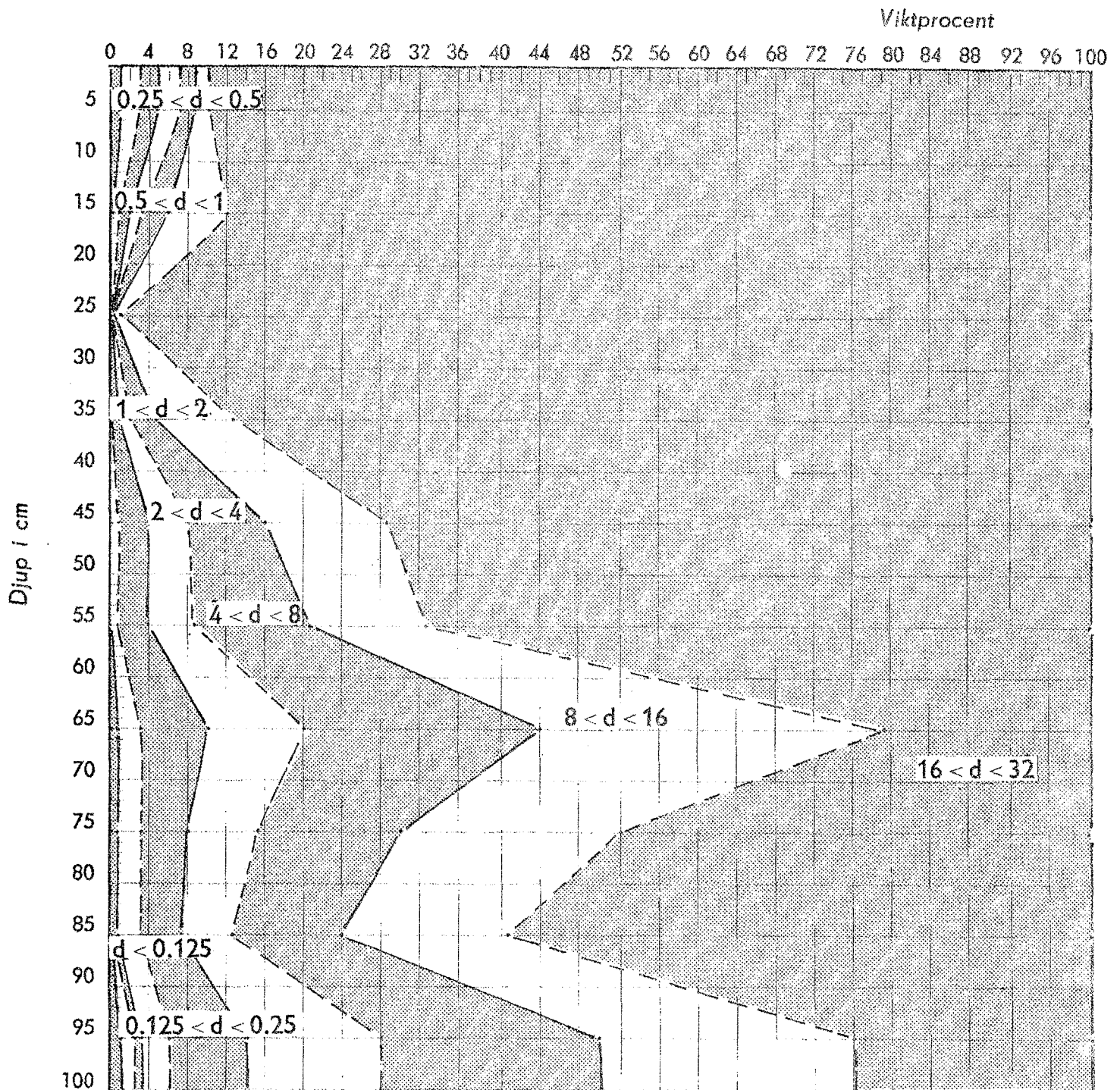
Figur 6. Kungsängen nr 2, 1968. Diagram över aggregatens storleksfördelning i profilen, s.k. φ_H -diagram.



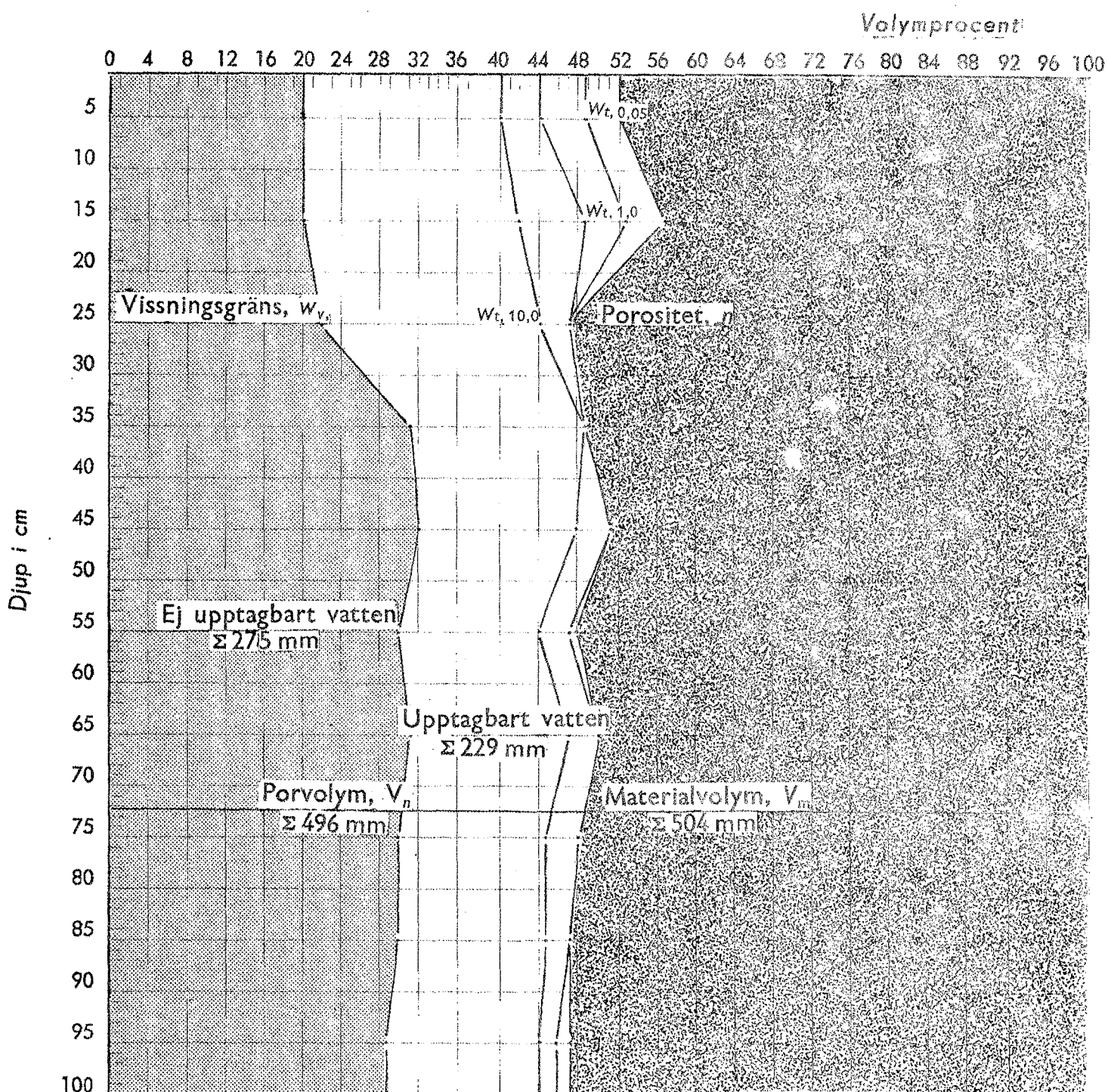
Figur 7. Kungsängen nr 2, 1968. Volymdiagram utvisande i första hand, hur porositeten n och vissningsgränsen w_v varierar med djupet z i profilen. Dessutom har tre s.k. avsugnings- eller tensionskurvor, $w_{t,h}$, blivit inritade. Dessa visar, vilken vattenhalt profilens olika lager skulle anta, om de utsattes för det på varje kurva angivna bestämda vattenavförande trycket eller tensionen $h=h_c$ m v.p.=0,05, 1,0 och 10,0 m v.p.



Figur 9. Lönhult nr 1, 1968. Diagram över aggregatens storleksfördelning i profilen, s.k. ψ_m -diagram.



Figur 10. Lönhult nr 1, 1968. Volymdiagram utvisande i första hand, hur porositeten n och vissningsgränsen w_v varierar med djupet z i profilen. Dessutom har tre s.k. avsugnings- eller tensionskurvor, $w_{t,h}$, blivit inritade. Dessa visar, vilken vattenhalt profilens olika lager skulle anta, om de utsattes för det på varje kurva angivna bestämda vattenavförande trycket eller tensionen $h=h_t$ m.v.p.=0,05, 1,0 och 10,0 m.v.p.



Tabell 2. Fysikaliska analyser på 1969 års försöksplatser

Plats, djup	Kornstorleksfördelning, %			Glöd.förlust, %	Vattenhalt vid vissnings- gräns, viktsprocent	
	Ler	Mjåla	Sand			
Ultuna, matjord	50,3	25,6	14,6	2,5	7,0	--
" -, elv	57,1	22,0	14,2	2,0	4,9	--
Fredrikslund, matj.	3,5	3,2	28,2	62,9	2,3	3,08
" -, alv.	2,6	2,7	26,2	66,9	1,8	--
Lönhult, skifte VI,						
0-20 cm	14,7	9,4	30,0	39,0	6,9	8,5
30-40 "	11,1	6,3	36,9	43,6	2,0	--
40-60 "	6,9	4,0	31,2	56,6	1,2	--
Lönhult, skifte IX,						
matjord	40,4	20,8	13,8	14,6	7,0	18,4
Höghult, matjord	28,6	17,4	30,3	18,5	5,2	13,6

Av den mekaniska analysen framgår, att de sju försöksplatserna valts så, att ett brett register av mineraljordar skulle ifrågakomma vid försöken, från måttligt mullhaltig sand till mullrik styv lera.

3.3. Anläggning och skötsel av försöken

Försöken anlades på höstplöjda fält och besåddes med korn av sorten Ingrid. Nettorutornas storlek var $2 \times 4 \text{ m} = 8 \text{ m}^2$. Skörderutornas storlek var $1,2 \times 3 \text{ m} = 3,6 \text{ m}^2$. De olika försöksleden behandlades på följande sätt:

Packningar

I 1968 års försök ingick följande behandlingar:

- L: Led luckrat med tvärskuren spade till 20 cm djup. Spaden trycktes ned och ruckades fram och åter, varför ingen omlagring av jordmaterialet skedde. För att förhindra, att såmaskinens billar skulle sjunka ned för djupt i den luckra jorden, plattades bearbetningsbotten till med spaden.
- O: Den höstplöjda tiltan bibehölls oförändrad.
- P₂: Måttligt packat led. Packat med traktor med enkelmonterade bakhjul spår vid spår en gång.
- P₃: Intensivt packat led. Traktorn belastades med c:a 500 kg extra last på de enkelmonterade bakhjulen samt kördes spår vid spår sex gånger.

I 1969 års försök ingick ej det luckrade ledet. I stället infördes ytterligare ett packningsled, "lätt packning", med beteckningen P₁.

- P₁: Lätt packat led. Packat med traktor med dubbelmonterade bakhjul spår vid spår en gång.

Vikt, däcksutrustning samt lufttryck i bakhjulen på de vid packningarna använda traktorerna redovisas i tabell 3.

Försommarklimat

T: Led med torr försommar. T-rutorna täcktes med skärmar av genomskinlig plast. Grödans vattenbehov mellan uppkomst och axgång måste helt täckas av markens förråd jämte kompletterande bevattning upp till 10 % av den potentiella evapotranspirationen.

N: Led med för orten normal försommar. N-rutorna fick dels den naturligt fallande nederbörden, dels tillskottsbevattning i mån av behov.

V: Led med mycket fuktig försommar. Rutorna bevattades mellan uppkomst och axgång så intensivt, att de i stort sett hela tiden skulle vara mättade till fältkapacitet (naturligt utbildad dräneringsjämvikt). Därvid tillfördes c:a 80 % av den potentiella evapotranspirationen. Grödan skulle täcka hela sitt vattenbehov med den tillförda vätskan.

Tabell 3. Vikt, däckutrustning och ringtryck för packningstraktorerne

Försök	Traktor	Vikt öv. bakaxel, kg	Däck	Enkla hjul	Dubbla hjul	Dimension, tum	Luftryck	Enkla hjul	Dubbla hjul
Kungsängen -68	Fordson Major	3 000	---	12 x 36	1,5	---	---	---	---
Lönhult X6-68	Ford 5000	3 250	---	12 x 36	"	---	---	---	---
Ultuna -69	Fordson Major	3 050	3 350	12 x 36	"	---	---	---	0,5
Fredrikslund -69	"	"	"	"	"	---	---	---	"
Lönhult VI -69	Fordson Major	3 150	3 450	12 x 36	"	---	---	---	"
Lönhult IX -69	"	"	"	"	"	---	---	---	"
Höghult -69	"	"	"	"	"	---	---	---	"

Tabell 4. Diverse tidsuppgifter för försöken

Plots	Datum för		Uppkomst	Första		Argång	Sista	
	Sädd	Sädd		bevattning	bevattning		bevattning	Skörd
Kungsängen -68	30.4.68	16.5	16.5	3.7	4.7	3.9	---	---
Lönhult XI -68	15.5.68	29.5	31.5	11.7	11.7	29-30.8	---	---
Ultuna -69	20.5.69	30.5	28.5	14.7	14.7	22.8	---	---
Fredrikslund-69	21.5.69	29.5	28.5	14.7	14.7	22.8	---	---
Lönhult VI -69	30.4.69	15.5	2.6	19.6	20.6	16.9	---	---
Lönhult IX -69	26.5.69	9.6	6.6	11.7	14.7	17.9	---	---
Höghult -69	14.5.69	26.5	2.6	7.7	7.7	16.9	---	---

Efter axgång avbröts de olika nederbördsleden. Skärmar togs bort och bevattningar upphörde. Vädret fick träffa försöksleden lika. Vid anläggningen av försöken skyfflades ett c:a 5 cm tjockt ytlager av från parcellerna. Lagret skulle motsvara den normala såbädden. Efter denna avtäckning av den vid normalt vårbruk icke bearbetade jorden utfördes de olika packningarna. Efter gödsling skyfflades ytlagret på igen. Sedan sådd skett med bredställd traktor, som gränslade parcellerna, fick samtliga led en bevattning av omkring 20 mm försåvitt icke lämpligt regn föll. Dessa åtgärder vidtogs för att korngroddan i alla försöksled skulle starta under så lika villkor beträffande ytlagrets struktur och fuktighet som möjligt. Efter den inledande bevattningen sattes under 1968 års försök skyddsskärmarna upp över T-ledet. Under 1969 års försök sattes skärmarna upp endast då nederbörd föll för att åter avtagas då regnet upphört. Denna åtgärd vidtogs efter iakttagelser 1968 av ljusets ofullständiga transmission genom skärmarna. På V-ledet vidtogs inga särskilda åtgärder förrän brodden hade skjutit upp över markytan, varefter bevattningar sattes in. I tabell 4 ges tidsuppgifter för anläggning av försöken, för uppkomst, för första bevattning till V-ledet, för axgång, sista bevattning (då också skärmarna togs bort) och skörd.

Samtliga försök har kvävegödsplats med kalksalpeter till en mängd motsvarande 70 kg/ha. Spridningsmetoden har närmast motsvarat "nedharvning före sådd".

Kemisk ogräsbekämpning har utförts i samtliga försök, antingen med enbart 4K-2M eller med 4K-2M och diklorprop. Därutöver har handrensning av t.ex. flyghavre förekommit i mån av behov.

Bevattningarna har utförts med en av Edling och Melin konstruerad bevattningsramp (se Edling 1968). Den mängd vatten som tillförts det våta ledet, V, bestämdes med hjälp av nederbörds- och avdunstningsmätningar (se nedan). Målet med bevattningarna var, att helt ersätta de genom evapotranspirationen avgångna vattenmängderna. Mängden bevattningsvatten borde alltså helst icke understiga 80 % av det "nederbördsunderskott", som kan räknas fram som skillnad mellan avdunstning ur mätaren och nederbörd.

Förfrukterna har i samtliga fall varit spannmål.

3.4.Mätningar och observationer

3.4.1.Väderlek och bevattning

För att presentera en allmän bild av klimatet under försöksåren visas månadsvis medelnederbörd, aktuell nederbörd, medeltemperatur samt aktuell temperatur för de närmast försöksplatserna liggande klimatstationerna för åren 1968 och -69 på figurerna 11-14.

Invid försöksplatserna uppmättes nederbörd och avdunstning. Nederbörden mättes med en vanlig "Automatiska regnmätaren Pluvius". Regnmätaren var placerad på markytan. Avdunstningen registrerades med en "Anderssons evaporimeter" (Andersson 1969, Johansson 1969). Avdunstningen ur apparaten motsvarar avdunstningen från en fri vattenyta, t.ex. en sjö. Det brukar anses, att en med vatten väl försörd vegetationsyta avdunstar 70 à 80 procent av mätarens värde. Mätaren var placerad två m över markytan.

Vid varje bevattningstillfälle har den utsprutade vattenmängden registrerats och omräknats till mm nederbörd.

På figurerna 15-21 har den ackumulerade avdunstningen, den ackumulerade nederbörden och den ackumulerade bevattningen på de olika nederbördsleden ritats in för konsekutiva 10-dagarsperioder.

3.4.2.Markytans höjdförändringar

Markytans höjdförändringar har registrerats med Anderssons och Håkanssons metod (Andersson & Håkansson 1963). Antalet mättillfällen har varit tre eller fyra: före sådd, efter sådd, mitt i sommaren och i 1968 års försök efter skörd. Resultatet av mätningarna visas i figurerna 22-25, där markytans höjd över en fix nivå representeras som funktion av tiden. I Höghultsförsöket har på grund av förhärjning av fåglar verksamheten i huvudsak avbrutits i slutet av juli, varför mätningarna icke fullföljts.

3.4.3.Volymrelationer i matjorden

Volymrelationerna i matjorden på de olika försöksleden har bestämts enligt Andersson och Håkansson (1963). På försöket "Kungsängen 1968" har matjordens volymrelationer bestämts genom direkta bestämningar vid varje mättillfälle. På de övriga försöken har direkt mätning av matjordens volym gjorts endast vid ett mättillfälle, det sista. Volymförhållandenas tidsvariation har därefter beräknats med uppgifterna om markytans höjdförändringar (se avd. 3.4.2.). De uppmätta och beräknade volymförhållandena redovisas i tabell 5. På försöket Höghult -69 saknas volymsbestämning av i 3.4.2. redovisade skäl.

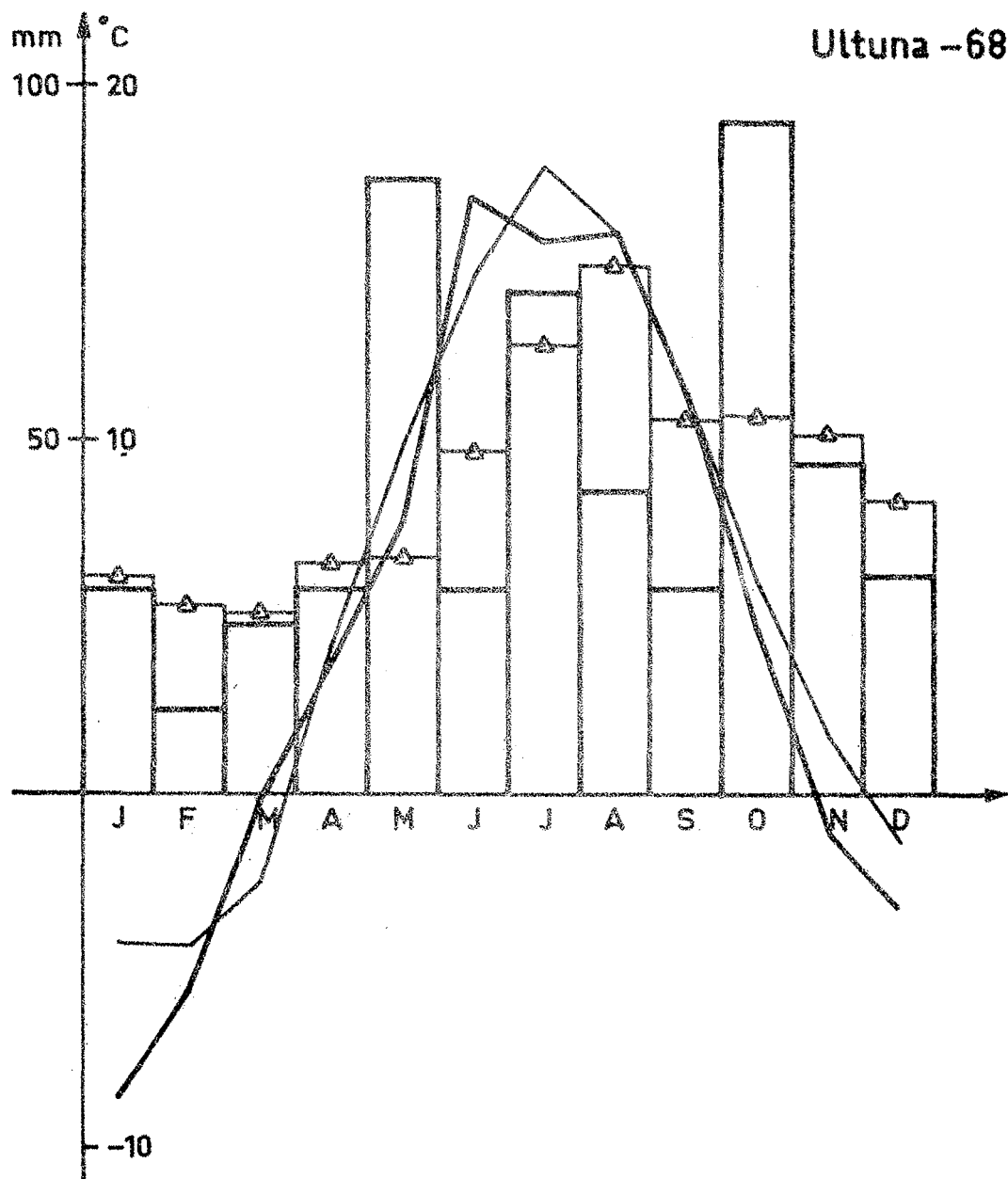
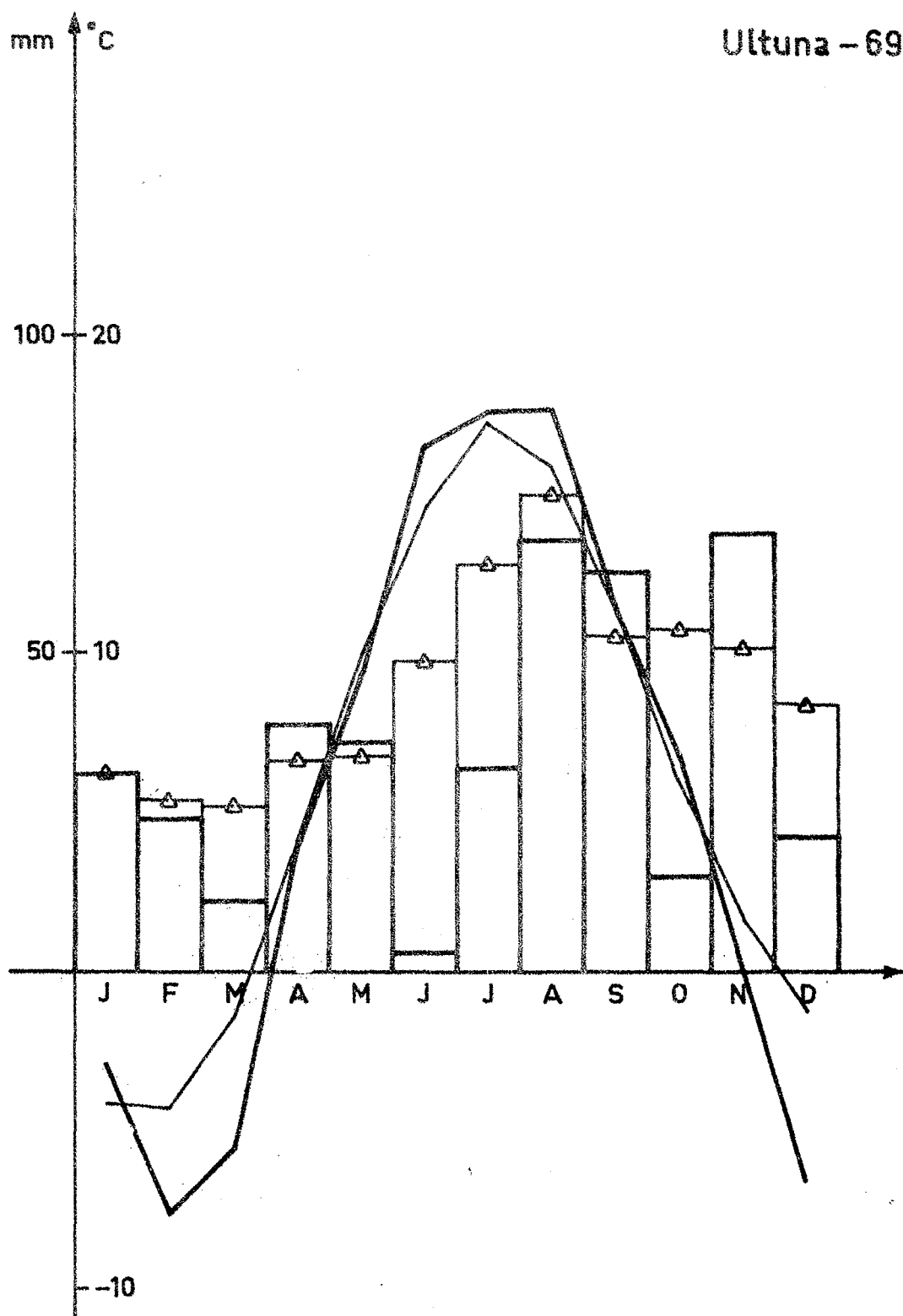
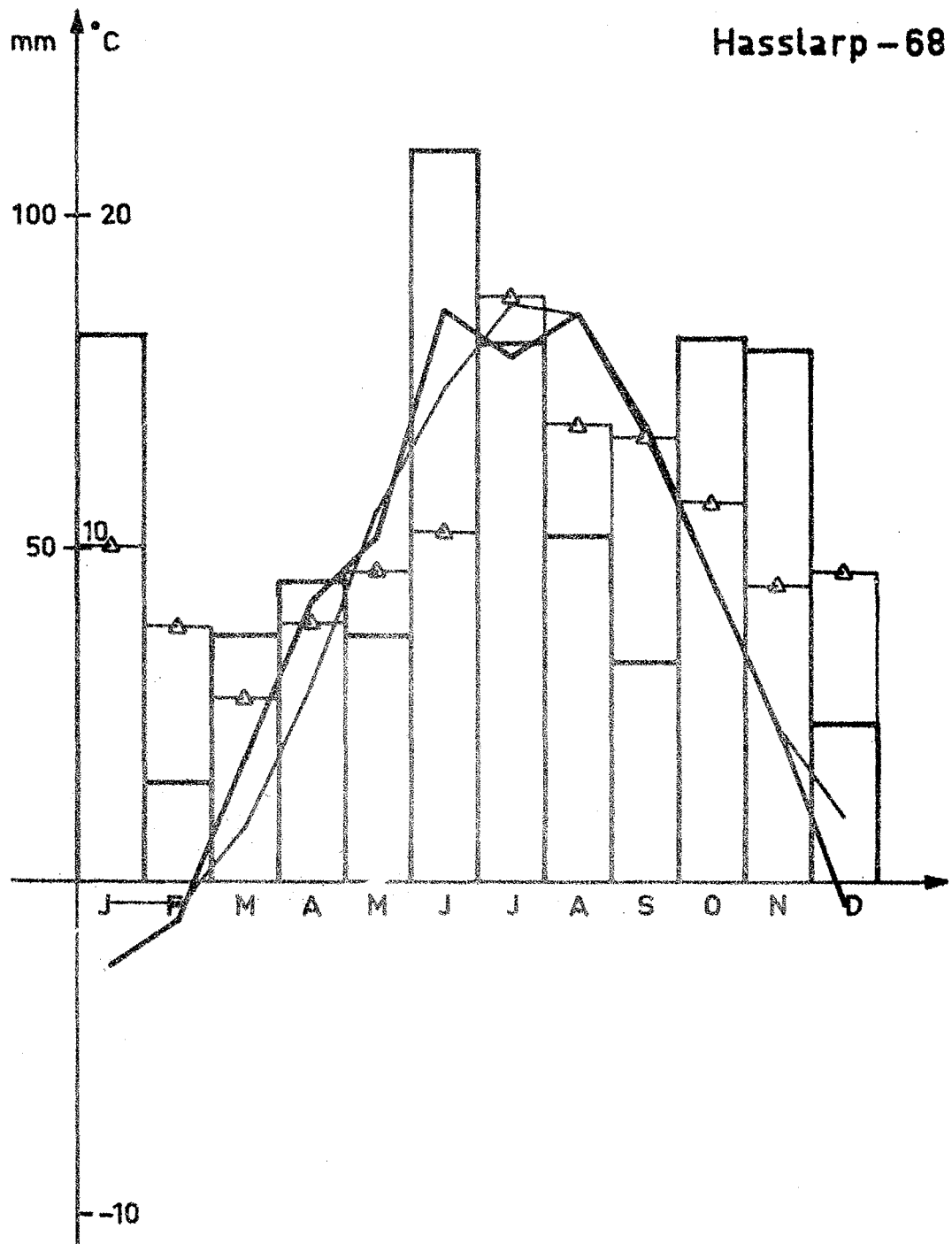


Fig. 11. Månatlig nederbörd (■) och månadsmedeltemperatur (—) å klimatiska stationer vid Ultuna 1968. I diagrammet är också månadsmedelnederbörd (▲) och månadsmedeltemperatur (—) för Uppsala under perioden 1931-60 inlagda. Efter Månadsöversikt över nederbörd och vattentillgång i Sverige samt Nederbörden i Sverige



r 12. Månatlig nederbörd (▭) och månadsmedeltemperatur (—) å klimatiska stationen vid Ultuna 1969. I diagrammet är också månadsmedelnederbörd (▴) och månadsmedeltemperatur (—) för Uppsala under perioden 1931-60 inlagda. Efter Månadsöversikt över nederbörd och vattentillgång i Sverige samt Nederbörden i Sverige



ur 13. Månatlig nederbörd (■) och månadsmedeltemperatur (—) å klimatiska stationen vid Hasslarp 1968. I diagrammet är också månadsmedelnederbörd (▲) och månadsmedeltemperatur (—) för Hälsingborg under perioden 1931-60 inlagda. Efter Månadsöversikt över nederbörd och vattentillgång i Sverige samt Nederbörden i Sverige.

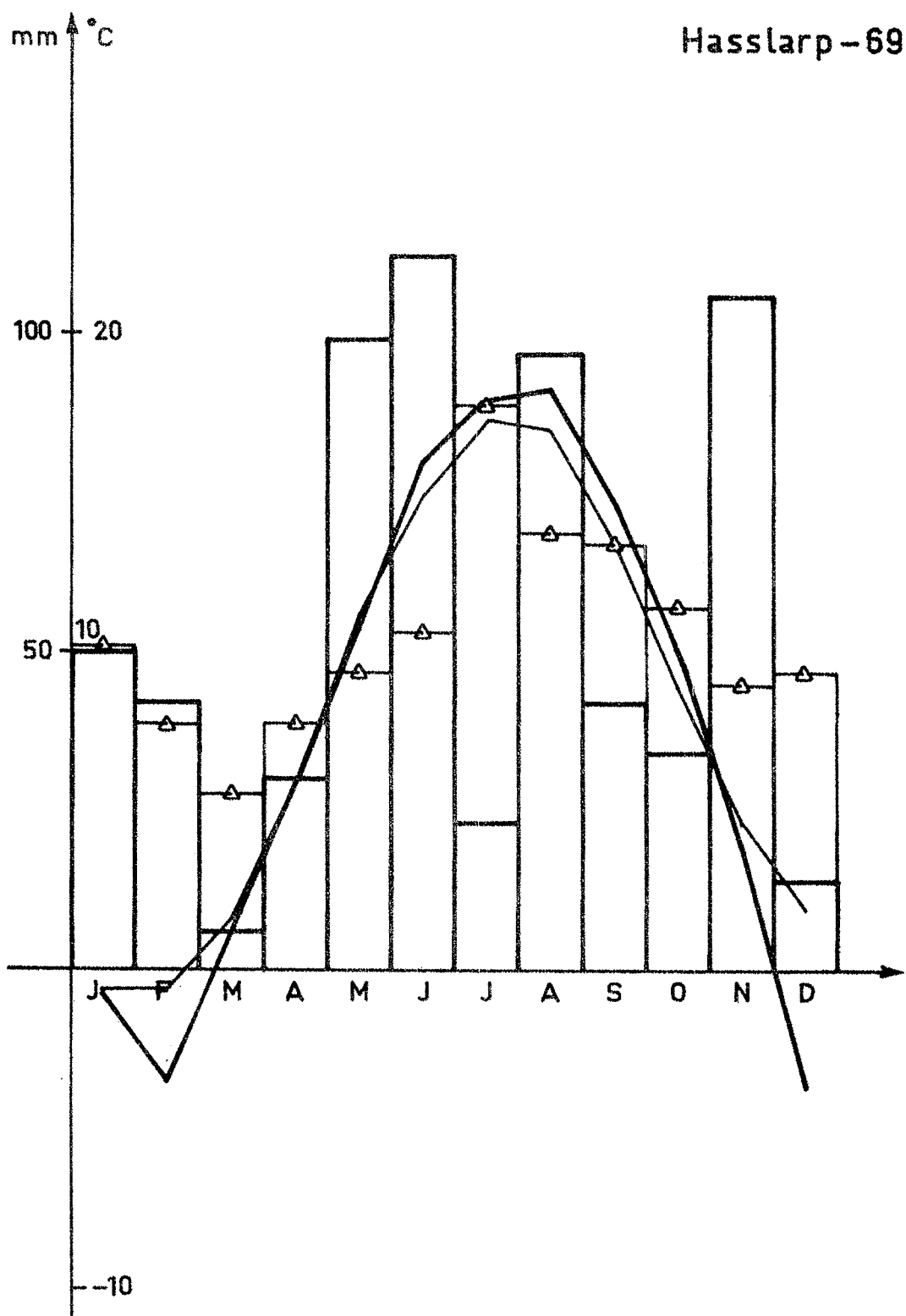
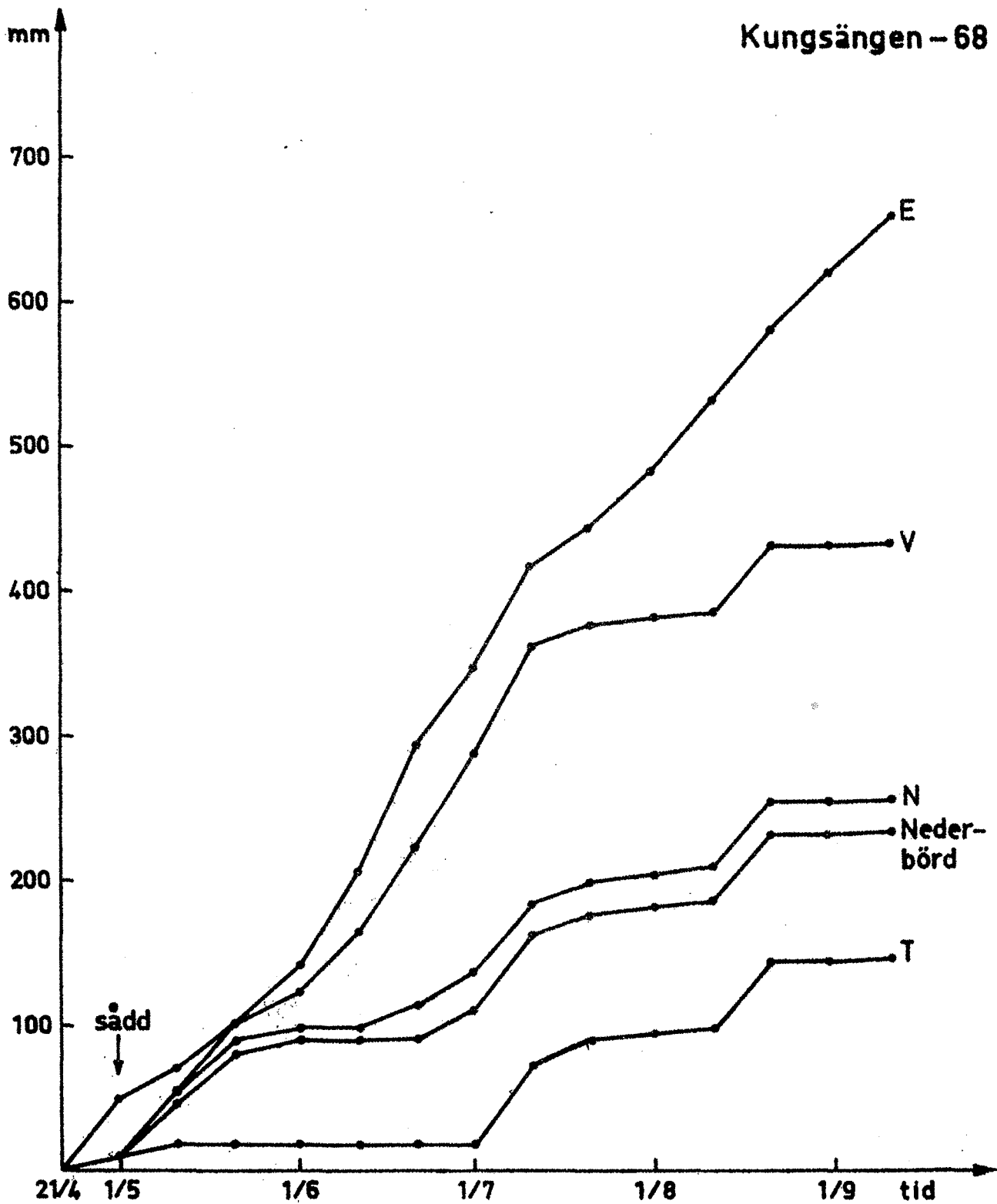
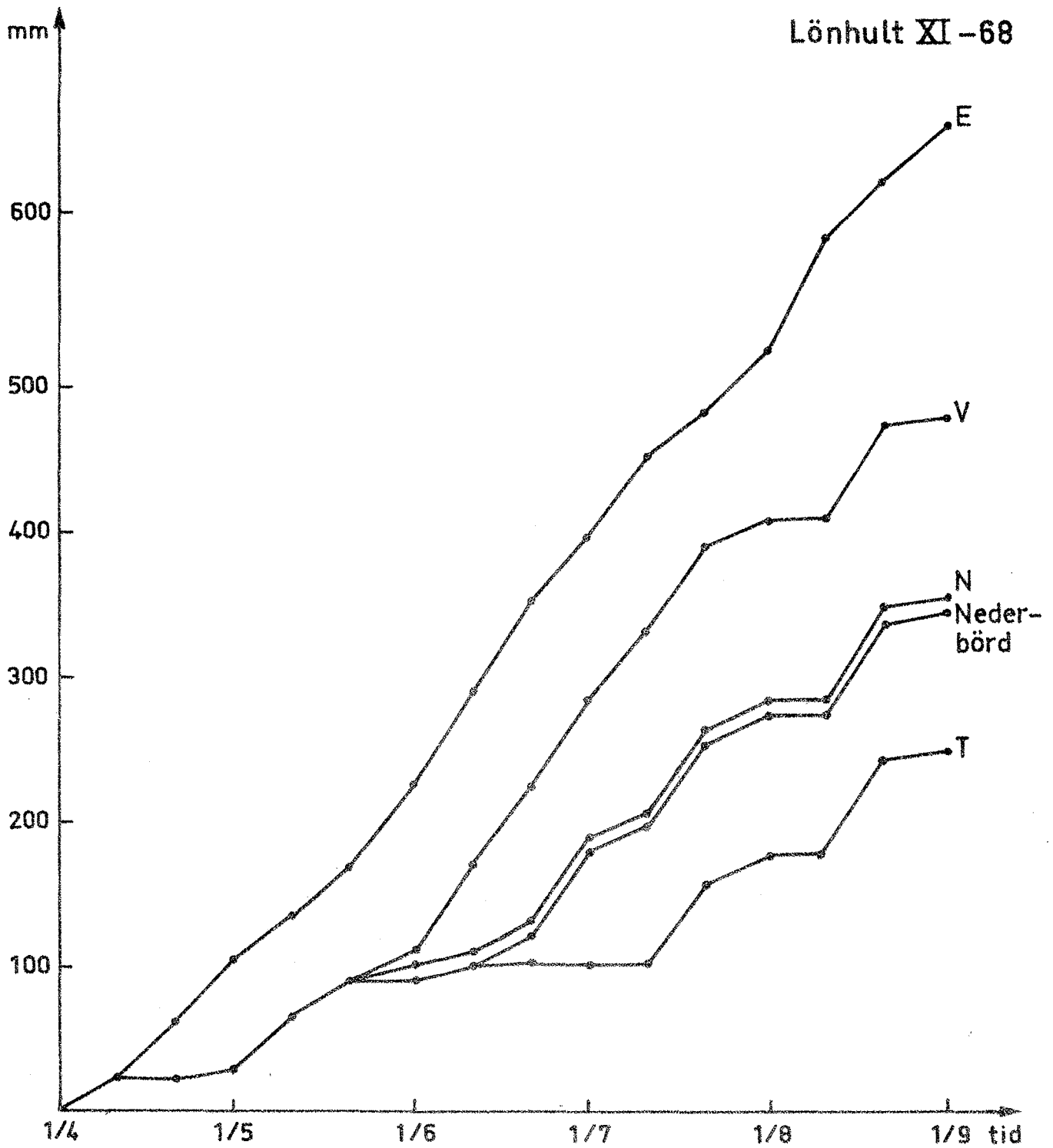


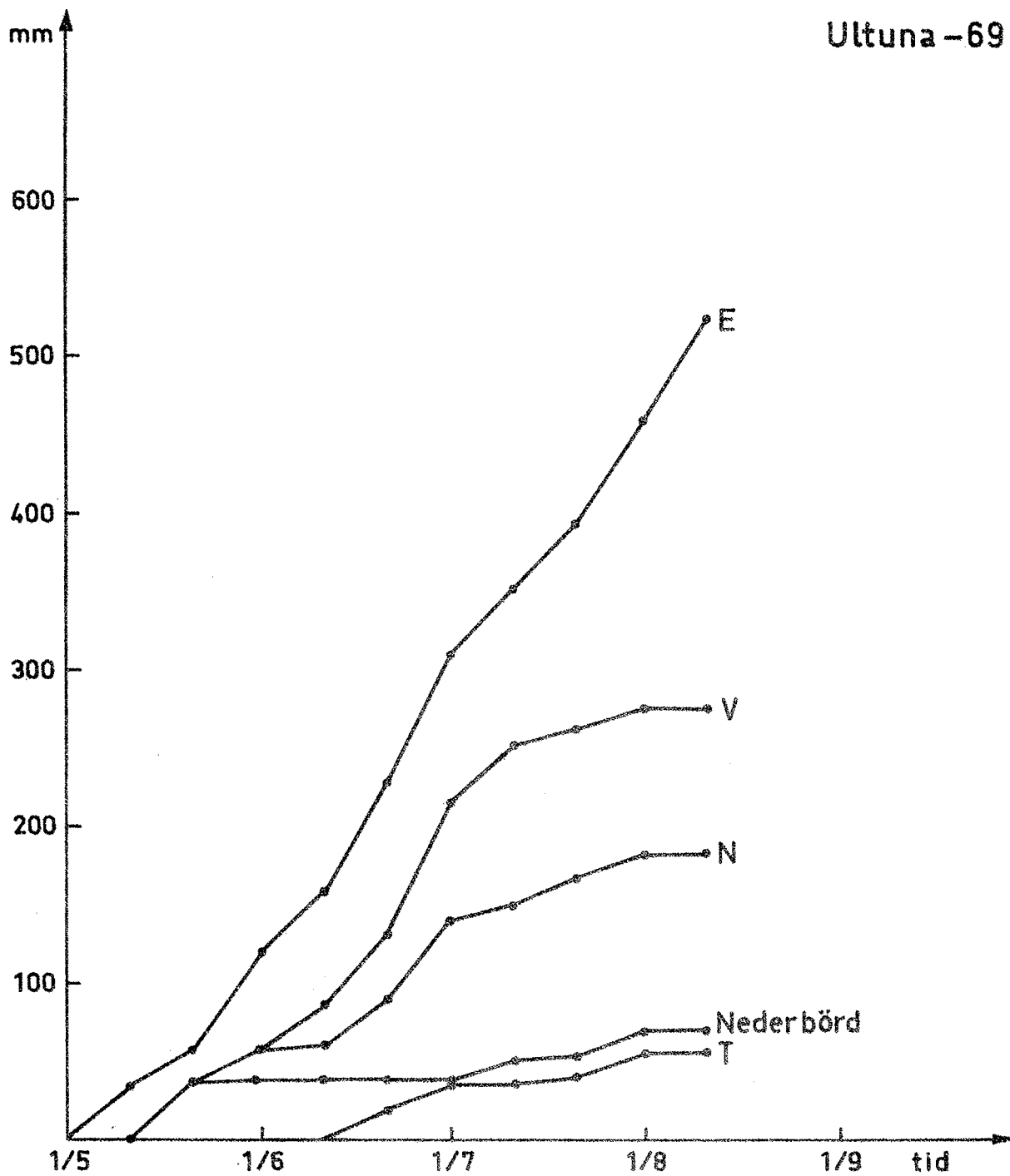
Fig. 14. Månatlig nederbörd (■) och månadsmedeltemperatur (—) å klimatiska stationer vid Haslarp 1969. I diagrammet är också månadsmedelnederbörd (▲) och månadsmedeltemperatur (---) för Hälsingborg under perioden 1931-60 inlagda. Efter Månadsöversikt över nederbörd och vattentillgång i Sverige samt Nederbörden i Sverige.



Figur 15. Ackumulerad potentiell evaporation (E), naturligt fallande nederbörd (Nederbörd) samt nederbörd och bevattning i de tre olika försommarklimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Kungsängen -68.



Figur 16. Ackumulerad potentiell evaporation (E), naturligt fallande nederbörd (Nederbörd) samt nederbörd och bevattning i de tre olika försommarklimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket LönhultXI -68.



Figur 17. Ackumulerad potentiell evaporation (E), naturligt fallande nederbörd (Nederbörd) samt nederbörd och bevattning i de tre olika försommarklimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Ultuna -69.

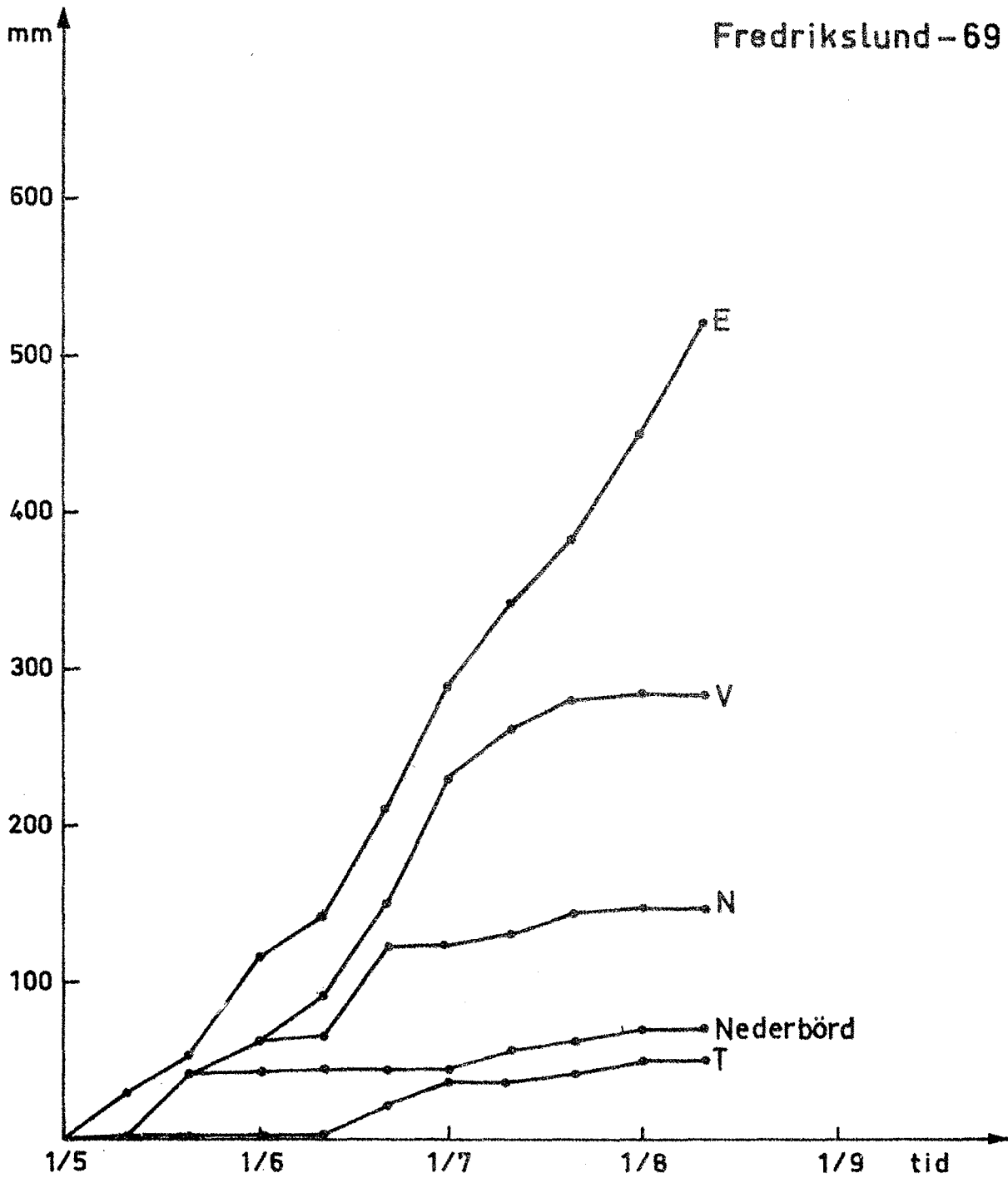
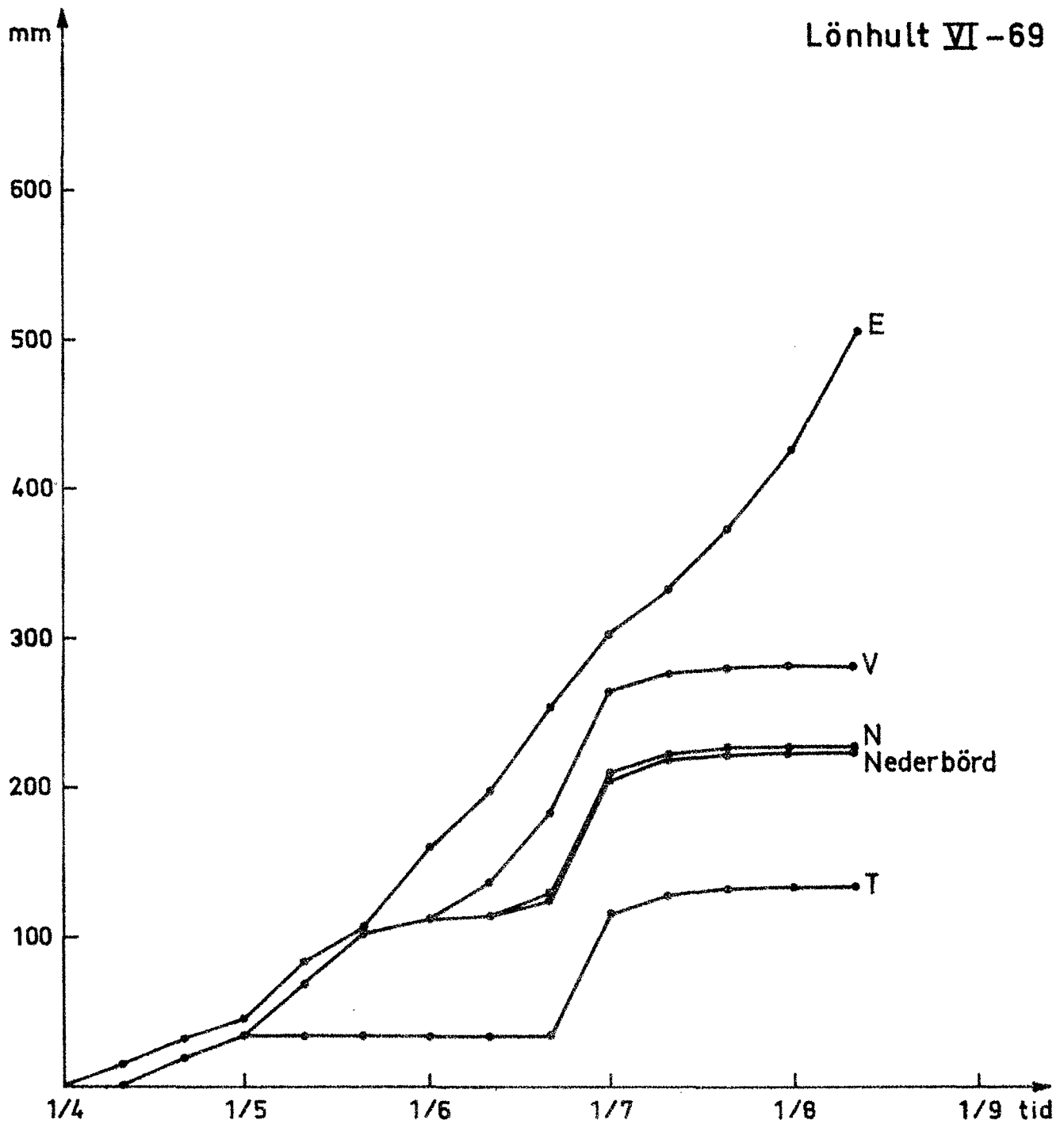
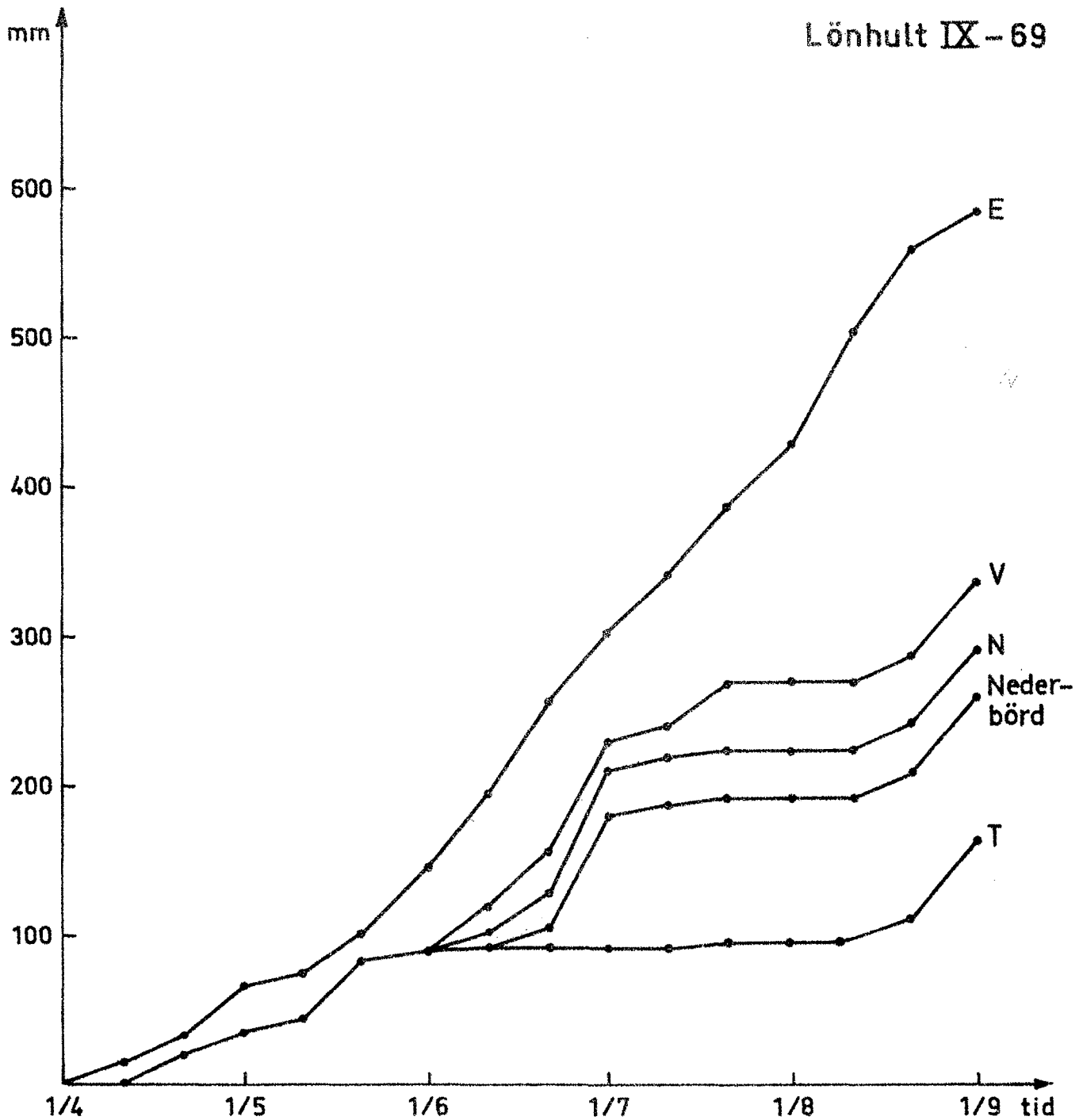


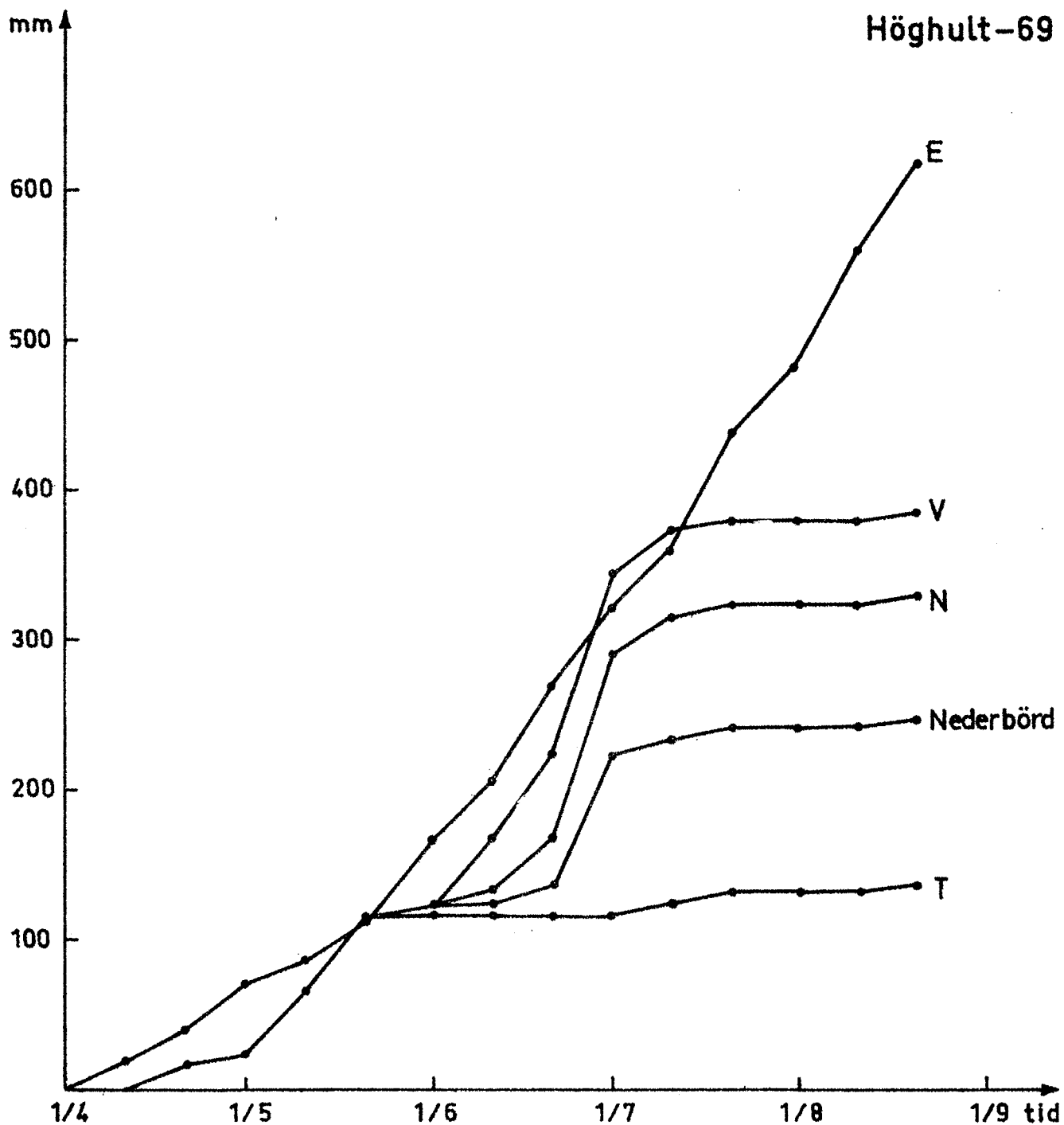
Fig. 18. Ackumulerad potentiell evaporation (E), naturligt fallande nederbörd (Nederbörd) samt nederbörd och bevattning i de tre olika försommarklimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Fredrikslund -69.



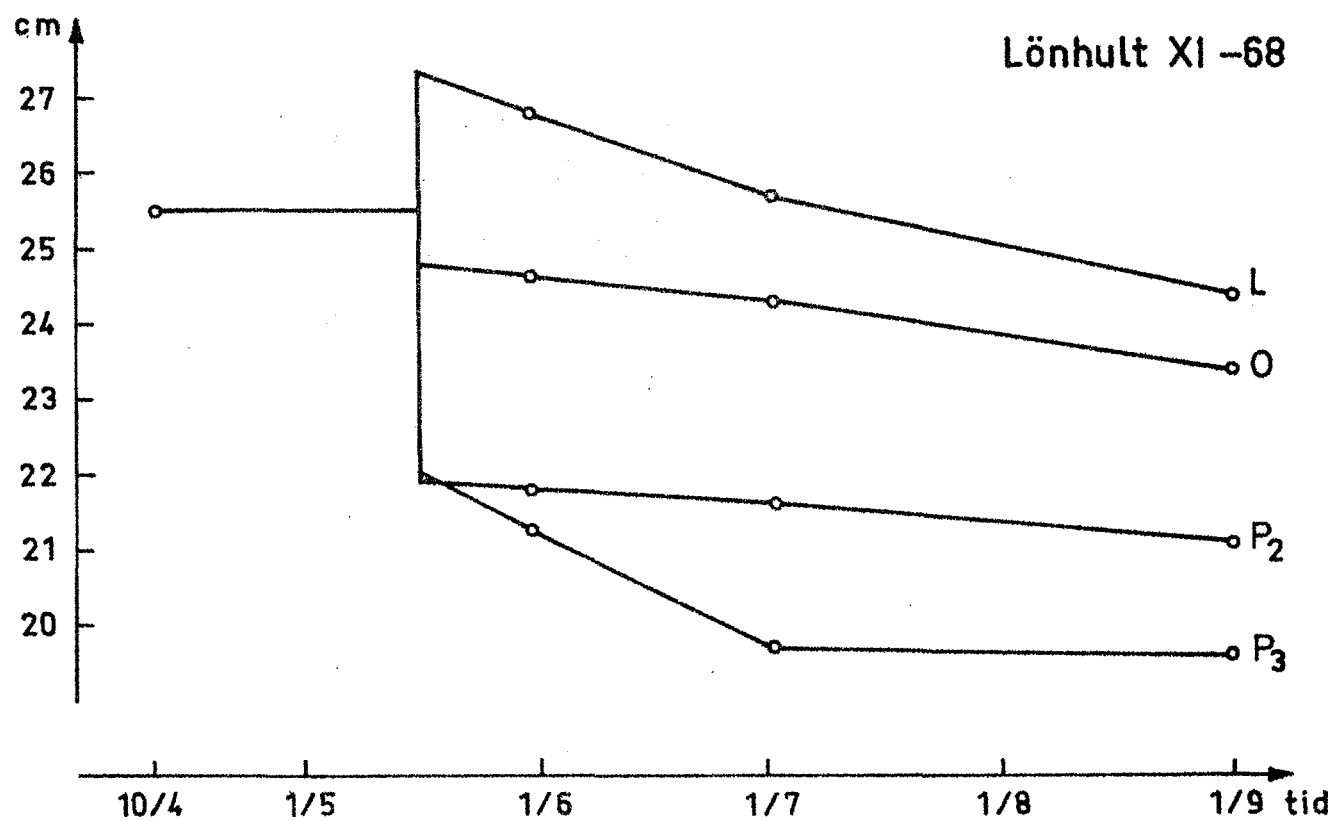
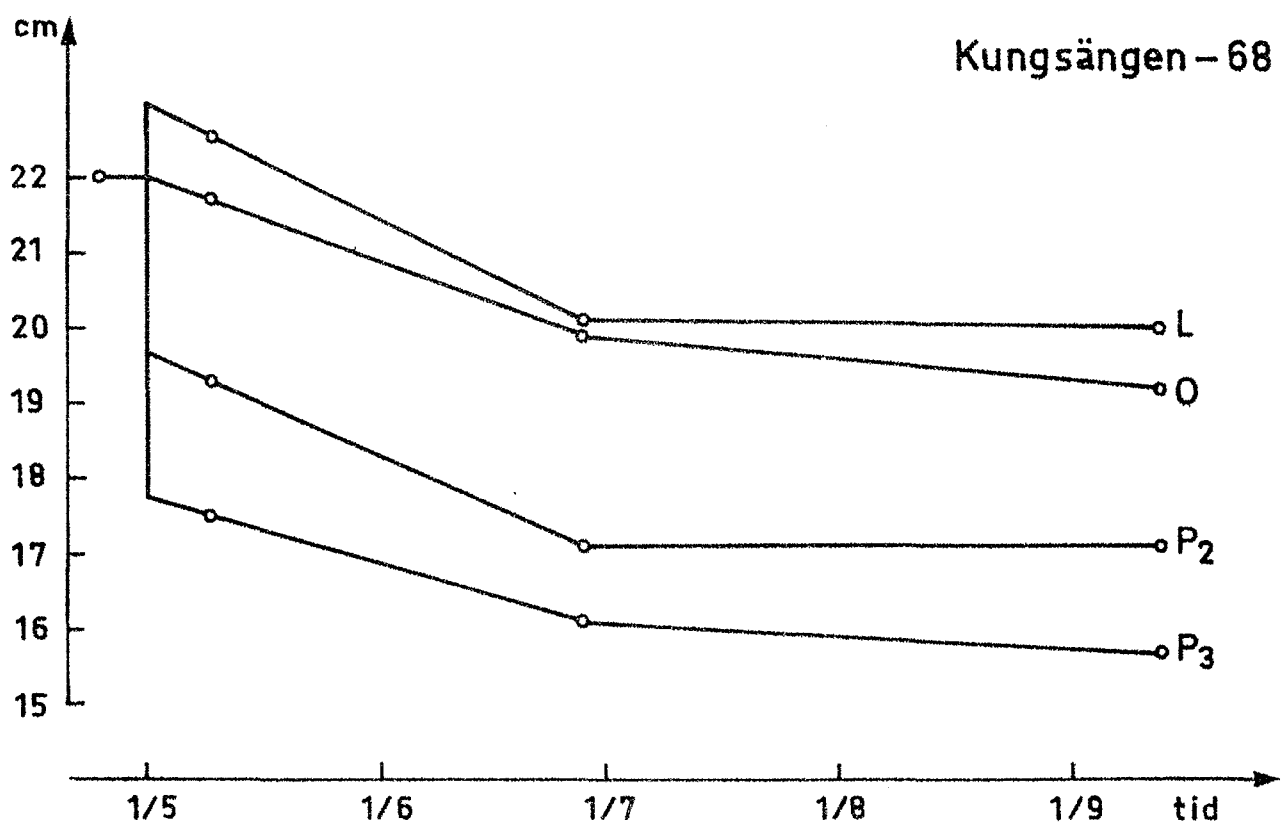
Figur 19. Ackumulerad potentiell evaporation (E), naturligt fallande nederbörd (Nederbörd) samt nederbörd och bevattning i de tre olika försommarklimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Lönhult VI-69.



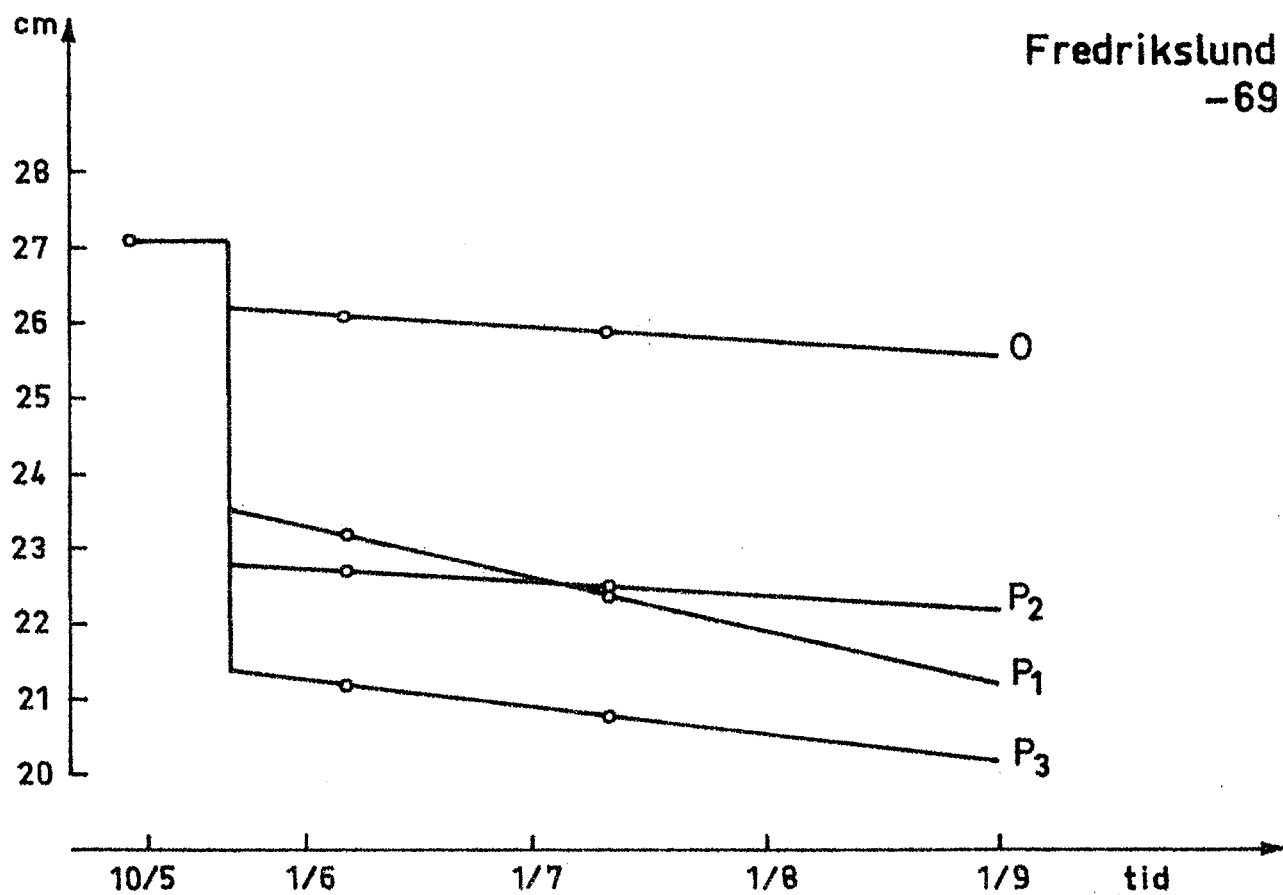
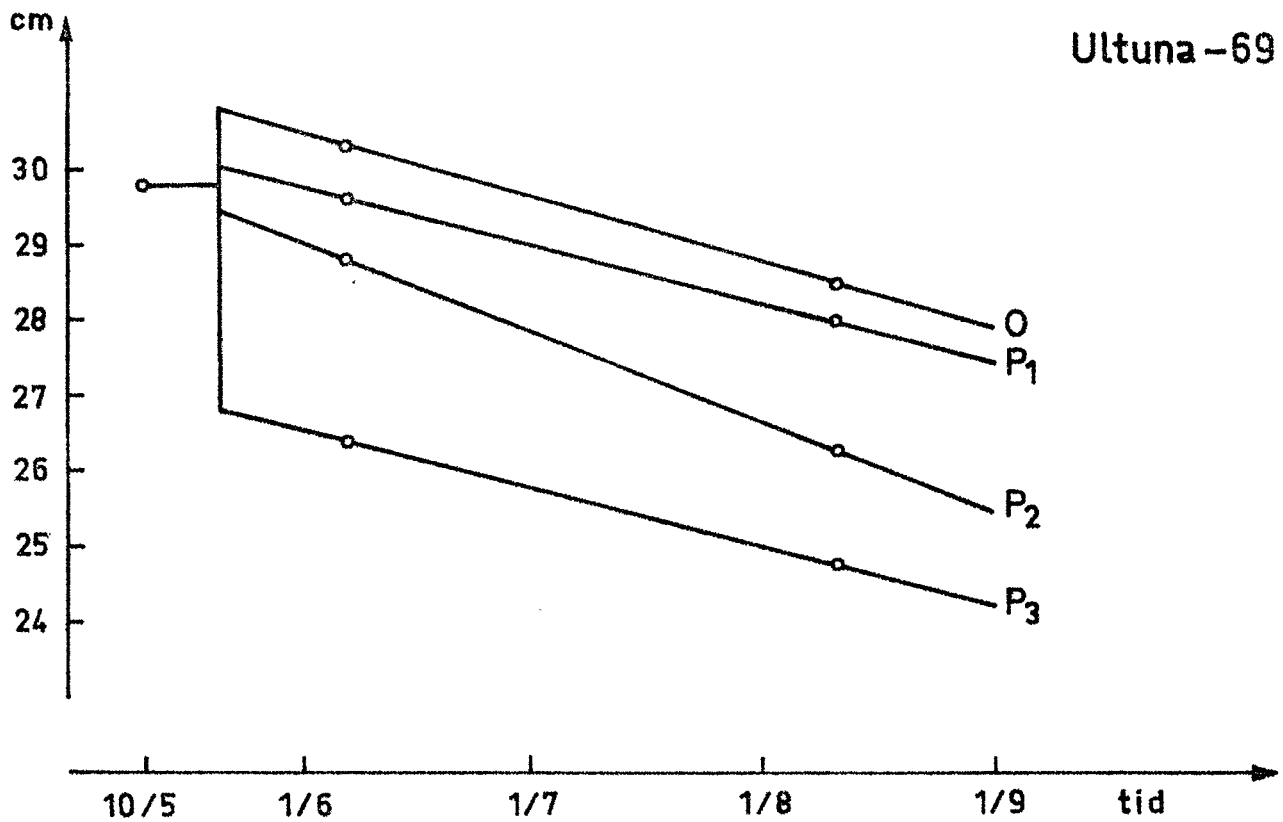
Figur 20. Ackumulerad potentiell evaporation (E), naturligt fallande nederbörd (Nederbörd) samt nederbörd och bevattning i de tre olika försommarklimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Lönhult IX-69.



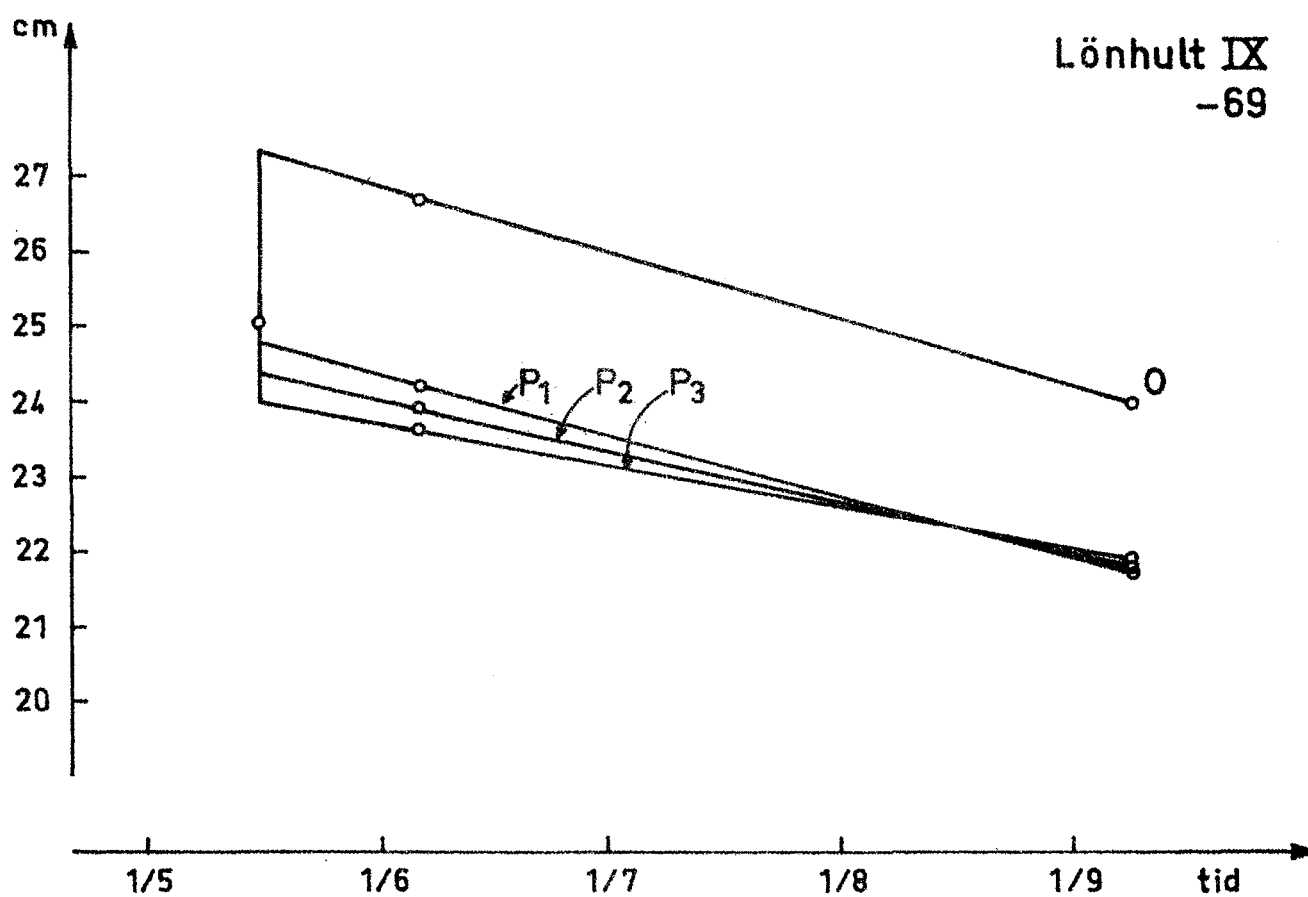
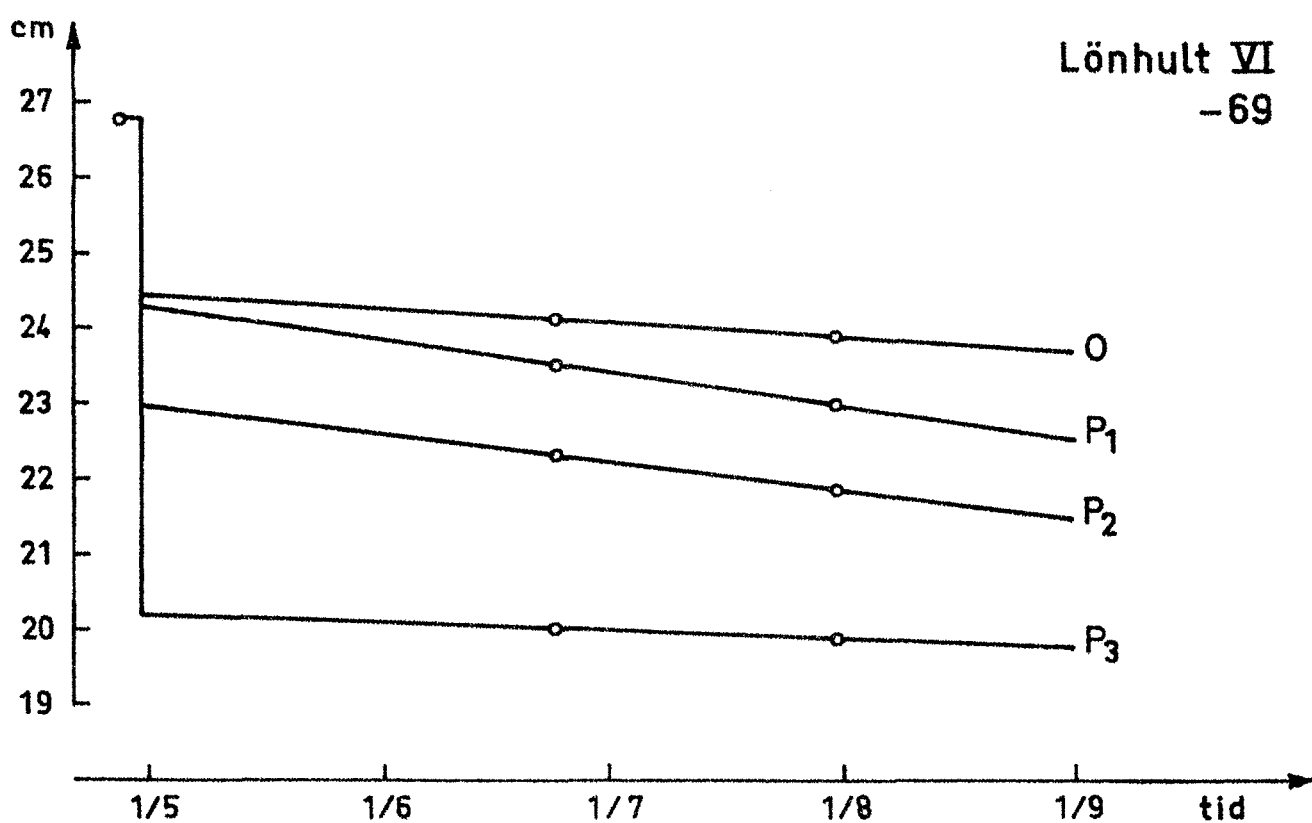
Figur 21. Ackumulerad potentiell evaporation (E), naturligt fallande nederbörd (Nederbörd) samt nederbörd och bevattning i de tre olika försommarklimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Höghult -69.



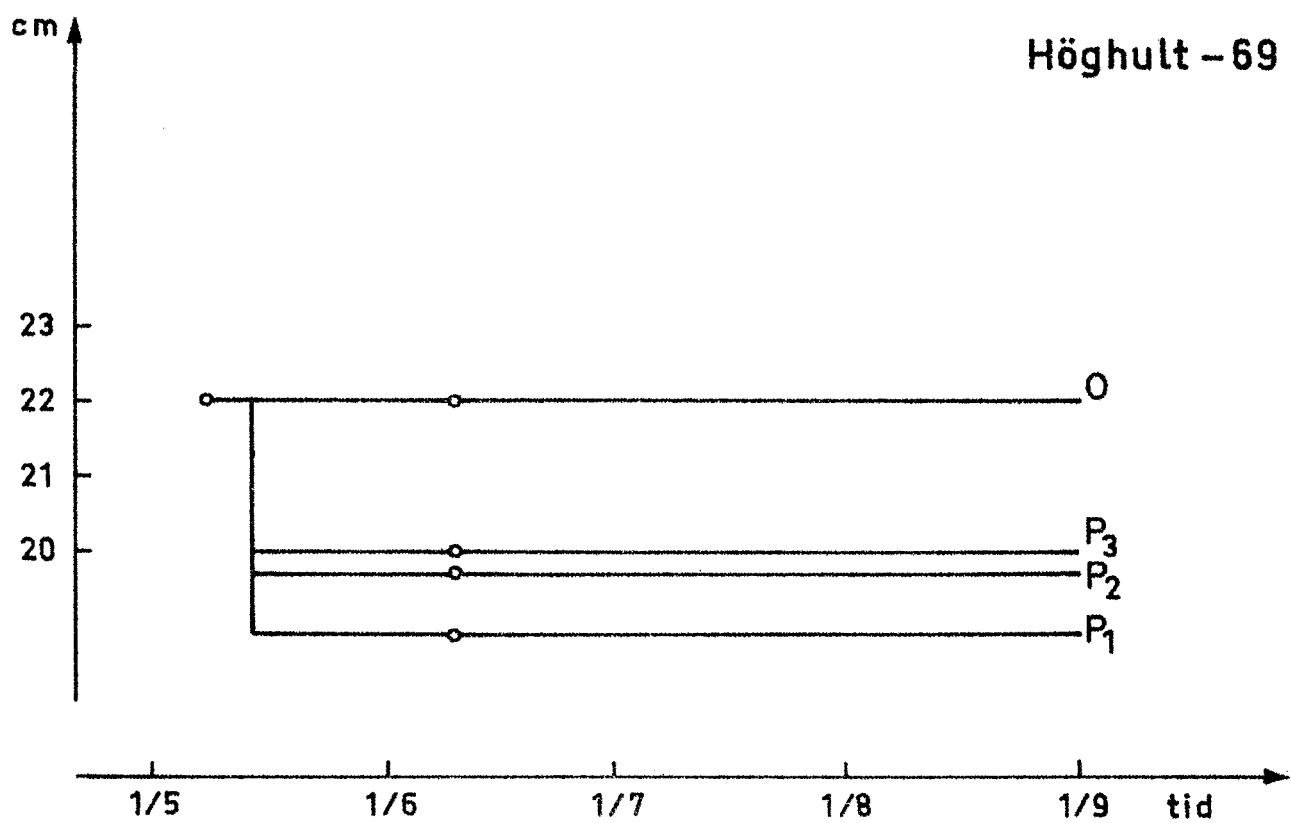
ur 22. Ändringar i markytans höjd över en fix nivå \longleftrightarrow vid luckring (L), ingen (O), måttlig (P₂) och intensiv (P₂) packning i försöken Kungsängen -68 och Lönhult XI -68.



Figur 23. Ändringar i markytans höjd över en fix nivå ← → vid ingen (0), lätt (P₁), måttlig (P₂) och intensiv packning (P₃) i försöken Ultuna -69 och Fredrikslund -69.



Figur 24. Ändringar i markytans höjd över en fix nivå ← vid ingen (0), lätt (P₁), måttlig (P₂) och intensiv packning (P₃) i försöken Lönhult VI -69 och IX -69.



Figur 25. Ändringar i markytans höjd över en fix nivå ← → vid ingen (0), lätt (P₁), måttlig (P₂) och intensiv packning (P₃) i försöket Höghult -69.

Tabell 5. Volymförhållanden i matjorden.

Plats	Led	Porvolym % vid mätn. I, I	Porvolym vid mätning			
			medeltal före sådd för platsen	I före sådd	II efter sådd	III mitt i sommaren
Kungsängen -68	L		59,5	59,3	59,1	56,0
	O		60,1	59,1	55,4	54,9
	P ₂	60,7	61,0	55,8	51,5	52,5
	P ₃		62,4	53,2	44,8	45,2
Lönhult XI -68	L		58,5	60,2	58,7	56,8
	O		59,3	58,0	57,5	56,1
	P ₂	59,6	59,1	53,2	52,9	51,8
	P ₃		61,5	54,6	51,3	51,1
	O		57,7	58,9	56,1	
Ultuna -69	P ₁		54,8	54,4	51,7	
	P ₂	55,7	54,4	51,6	48,4	
	P ₃		55,8	50,3	47,0	
Fredrikslund -69	O		56,3	54,7	54,2	
	P ₁		57,7	48,8	46,8	
	P ₂	57,3	56,9	46,3	45,5	
	P ₃		58,4	45,0	43,8	

Tabell 5. Forts. Volymförhållanden i matjorden.

Plats	Led	Porvolym vid mätning			
		Porvolym % vid mätn. I	I	II	III
		medeltal för platsen	före sådd	efter sådd	IV mitt i sommaren efter skörd
Lönhult VI -69	0		59,5	55,5	55,0
	P ₁		57,8	52,4	51,5
	P ₂	58,5	59,4	51,5	50,7
	P ₃		56,8	43,2	43,1
Lönhult IX -69	0		52,8	56,8	49,8
	P ₁		57,8	52,6	46,6
	P ₂	55,3	53,6	51,3	46,6
	P ₃		47,0	53,4	48,2
Höghult -69	Mätning ej utförd.				

3.4.4. Skörd

Skörderesultaten redovisas i tabell 6 såsom avkastning i kg/ha. I figurerna 25-29 är skörden i kg/ha som funktion av porvolym och packningsgrad representerad. I tabell 7 är kärnans vattenhalt vid skörd i de olika försöksleden redovisad.

Resultaten från försöket Lönhult IX -69 har ej redovisats i diagramform på grund av att den beroende variabeln, matjordens porositet, ej blivit korrekt bestämd, se nedan under Diskussion, Allmänna kommentarer.

Värden från försöket på Höghult har icke redovisats då fåglar förstört skörden på flera parceller. I något fall finns skörd uppgiven för alla tre parallellerna, i något för en och i något ingen alls, varför uppgifterna om skördens storlek är meningslösa.

Beträffande den statistiska behandlingen kan denna, vilket ovan påpekats, icke utföras på ett korrekt sätt på försöken Kungsängen -68 och Lönhult -68. Någon sådan analys har därför heller icke utförts. 1969 års försök är däremot utlagda enligt split-plot plan, varför variansanalys på materialet är tillåten. Signifikansnivåerna redovisas i tabell 8.

4. Särskilda undersökningar av packningens inverkan på jordens hållfasthet och vattengenomsläpplighet

I anslutning till de sju modellförsöken med jordpackning har det bedömts lämpligt att också redovisa material rörande packningens verkningar på vissa av markens fysikaliska egenskaper. I detta avsnitt redovisas några erfarenheter av volym-, dragmotstånds- och vattengenomsläpplighetsmätningar på olika packad jord. Mätningarna är utförda på packningsförsök som tidigare redovisats av Fergedal (1971).

4.1. Vingborrmätningar på olika packad jord

Under en följd av år har mätningar av markens skärhållfasthet med vingborr enligt Schaffer (1960) utförts i försök med olika grader av vörpackning, dels försök med olika behandlingar före sådd, dels packnings-såtidförsök (se Fergedal 1971). Metoden går i princip ut på, att ett plåtkors drivs ner i jorden, varefter det moment som erfordras för att driva korset runt avläses på en momentnyckel. Mätningarna utfördes i matjorden med korsets centrum på 10 cm djup. I figurerna 31-32 representeras de för de olika måttillfällena beräknade regressionsekvationerna. Regressionslinjernas ändpunkter motsvaras av högsta och lägsta avlästa moment. På figur 31 visas resultaten från nio lättleror och på figur 32 från nio styva leror. I tabell 9 visas lerhalten och vattenhalten vid provtagningstillfället på de olika provplatserna.

Tabell 6. Skörderesultat, kg/ha.

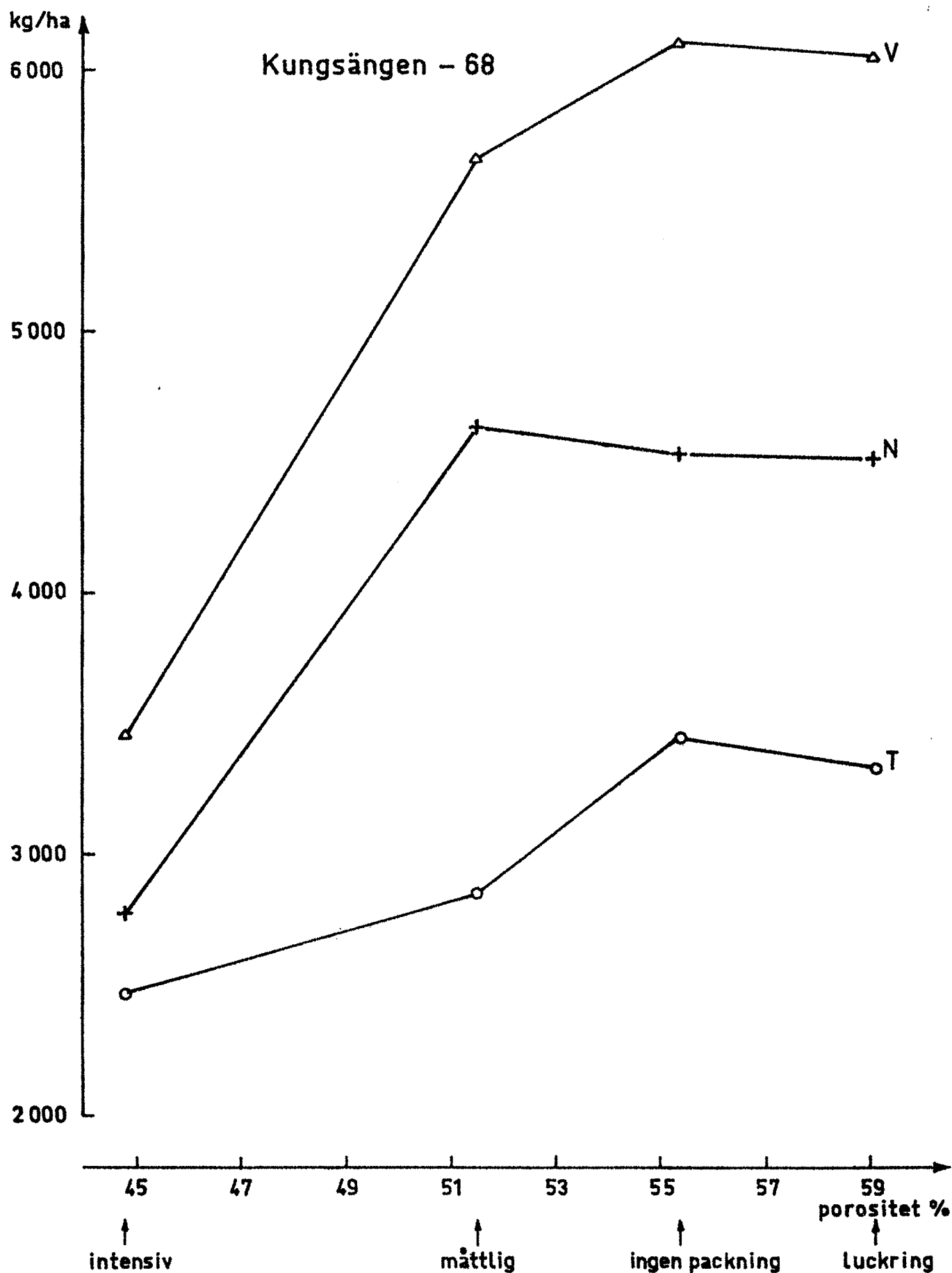
Plats	Klimat	Packning				
		Luckrad L	Ingen O	Lätt P ₁	Måttl. P ₂	Intensiv P ₃
Kungsängen -68	T	3 327	3 455		2 847	2 471
	N	4 521	4 535		4 635	2 778
	V	6 063	6 105		5 693	3 462
Lönhult -68	T	3 279	2 853		1 413	1 413
	N	4 080	3 920		1 947	2 213
	V	4 266	3 652		1 680	1 787
Ultuna -69	T		2 182	2 905	3 056	1 455
	N		3 791	4 238	4 155	2 157
	V		4 877	4 660	3 484	2 260
Fredrikslund -69	T		790	994	1 042	808
	N		2 069	2 438	2 373	1 962
	V		2 804	2 923	3 182	3 269
Lönhult VI -69	T		4 269	4 902	4 442	4 168
	N		4 528	4 350	4 816	3 129
	V		3 913	4 404	3 900	2 615
Lönhult IX -69	T		2 168	1 760	1 688	1 767
	N		2 469	1 720	1 539	1 290
	V		2 607	2 171	1 810	1 511
Höghult -69		Försöket förstört av fåglar.				

Tabell 7. Kärnans vattenhalt vid skörd, %.

Plats	Klimat	Packning				
		Luckrat L	Ingen O	Lätt P ₁	Måttl. P ₂	Intensiv P ₃
Kungsängen -68	T	34,6	31,0		29,2	35,7
	N	23,7	24,3		22,3	29,7
	V	18,6	19,1		19,1	20,6
Lönhult -68	T	14,1	12,7		14,0	13,9
	N	14,4	14,2		14,1	13,9
	V	14,5	14,5		14,1	13,9
Ultuna -69	T		28,7	25,2	25,1	26,7
	N		28,9	26,1	26,0	28,9
	V		25,2	24,5	25,7	25,5
Fredrikslund -69	T		18,6	19,0	19,5	17,7
	N		20,4	20,4	20,5	19,6
	V		20,2	20,4	20,8	20,0
Lönhult VI -69	T		13,9	14,0	13,9	14,0
	N		14,1	14,2	14,3	14,0
	V		14,2	14,4	14,3	14,1
Lönhult IX -69	T		14,6	14,3	14,7	14,9
	N		14,8	14,9	15,4	15,0
	V		14,5	14,8	14,6	14,8
Höghult -69		Försöket förstört av fåglar.				

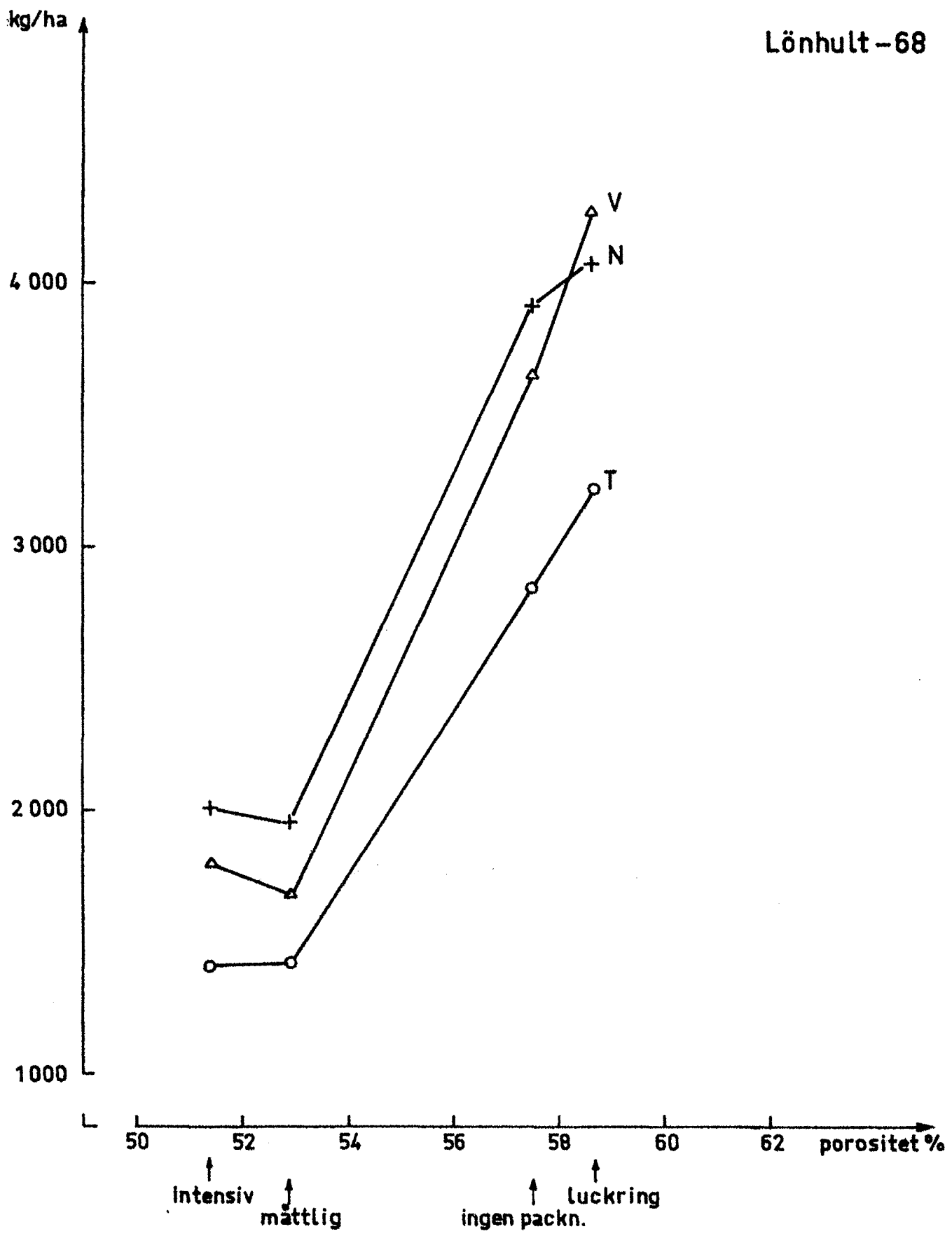
Tabell 8. Signifikansnivåer i 1969 års försök.

Plats	Signifikansnivå		
	Packning	Bevattning	Packn.-Bev.
Ultuna -69	x x x	x x x	x x x
Fredrikslund -69	--	x x x	--
Lönhult VI	x	--	--
Lönhult IX	x x x	--	--

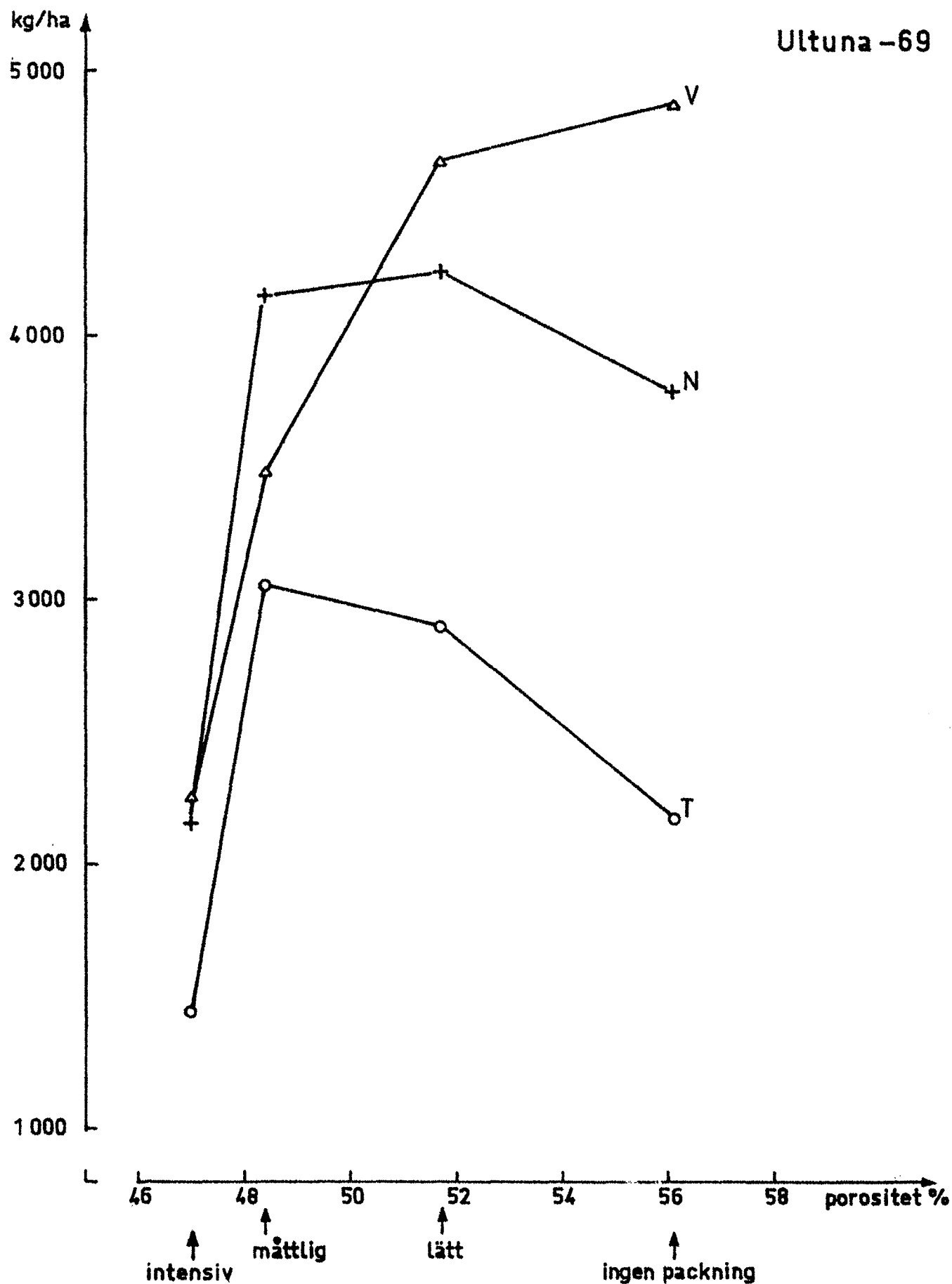


ur 26. Skörden i kg/ha, som funktion av matjordens porositet i de tre olika försommar-klimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Kungsängen -68.

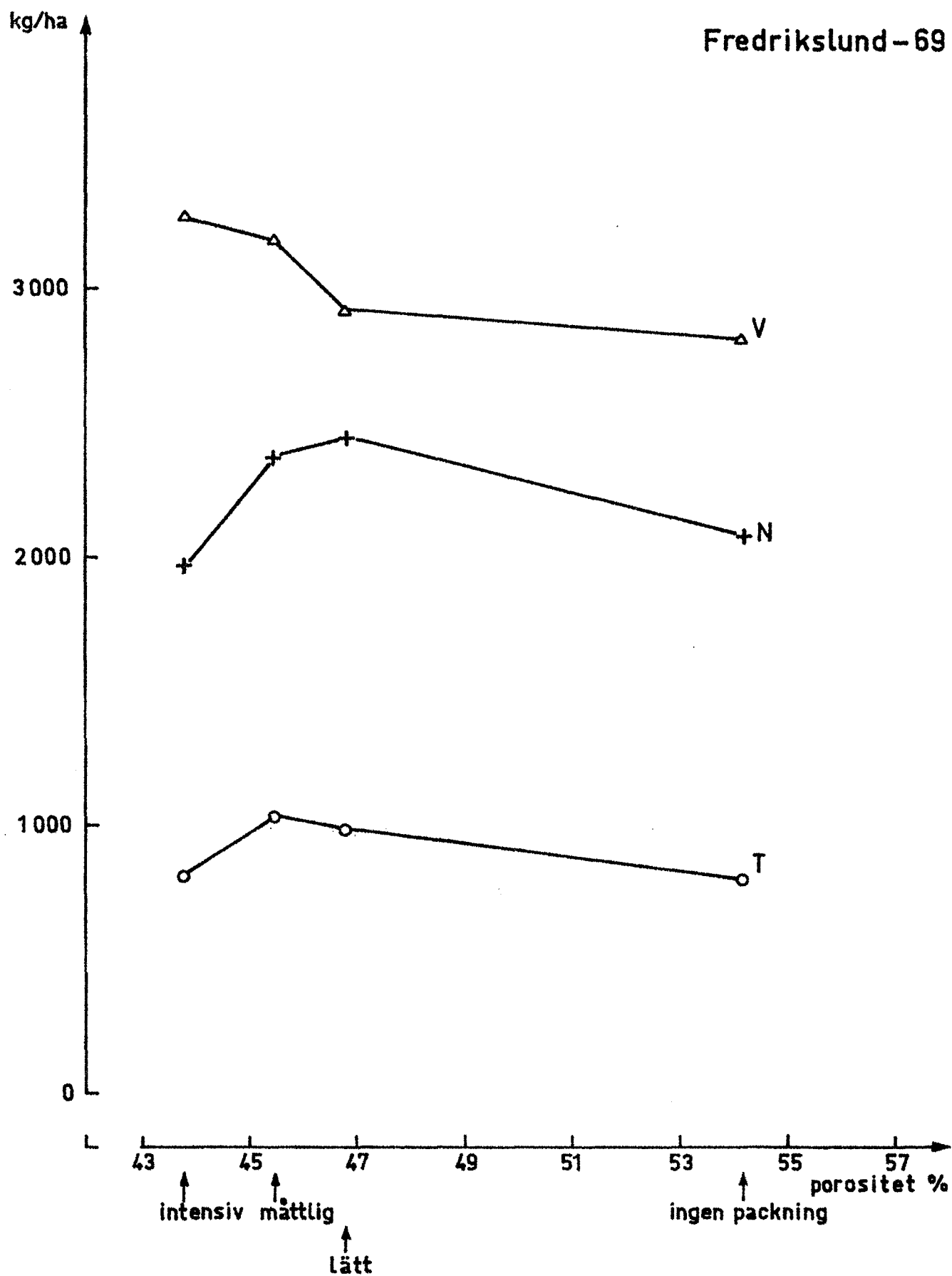
Lönhult-68



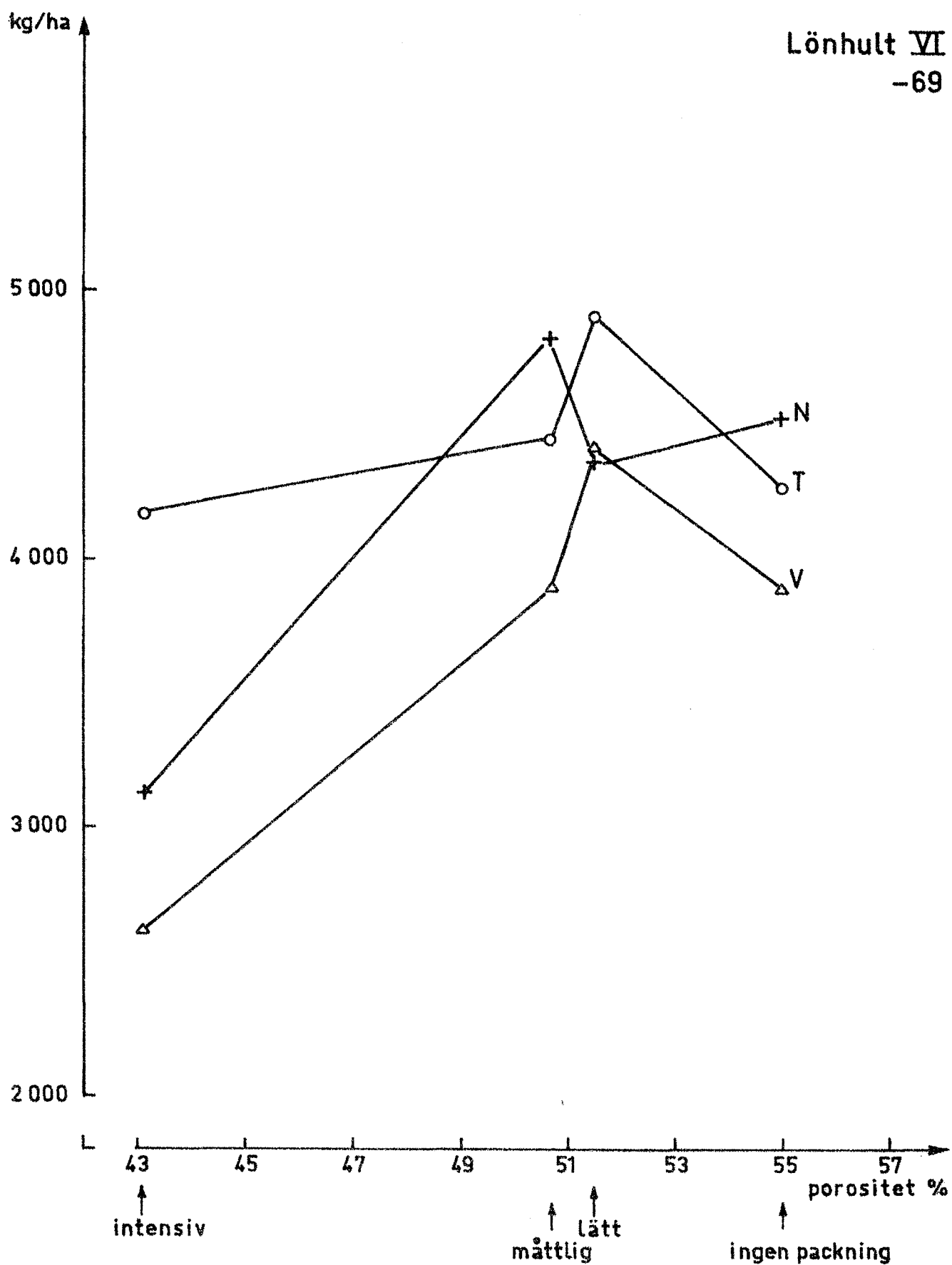
ur 27. Skörden i kg/ha, som funktion av matjordens porositet i de tre olika försommar-klimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Lönhult XI -68.



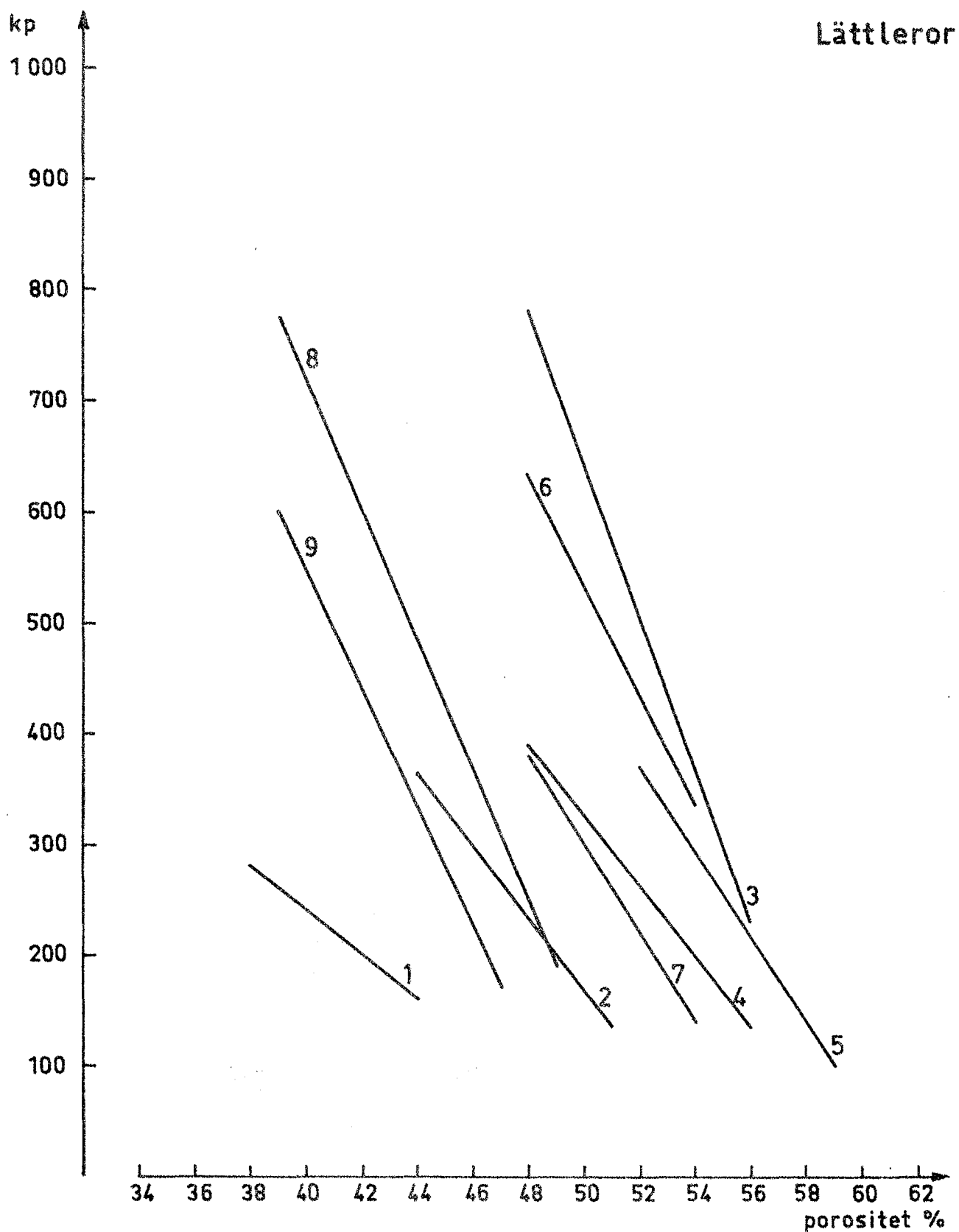
ur 28. Skörden i kg/ha, som funktion av matjordens porositet i de tre olika försommar-
 klimatena våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Ultuna -69.



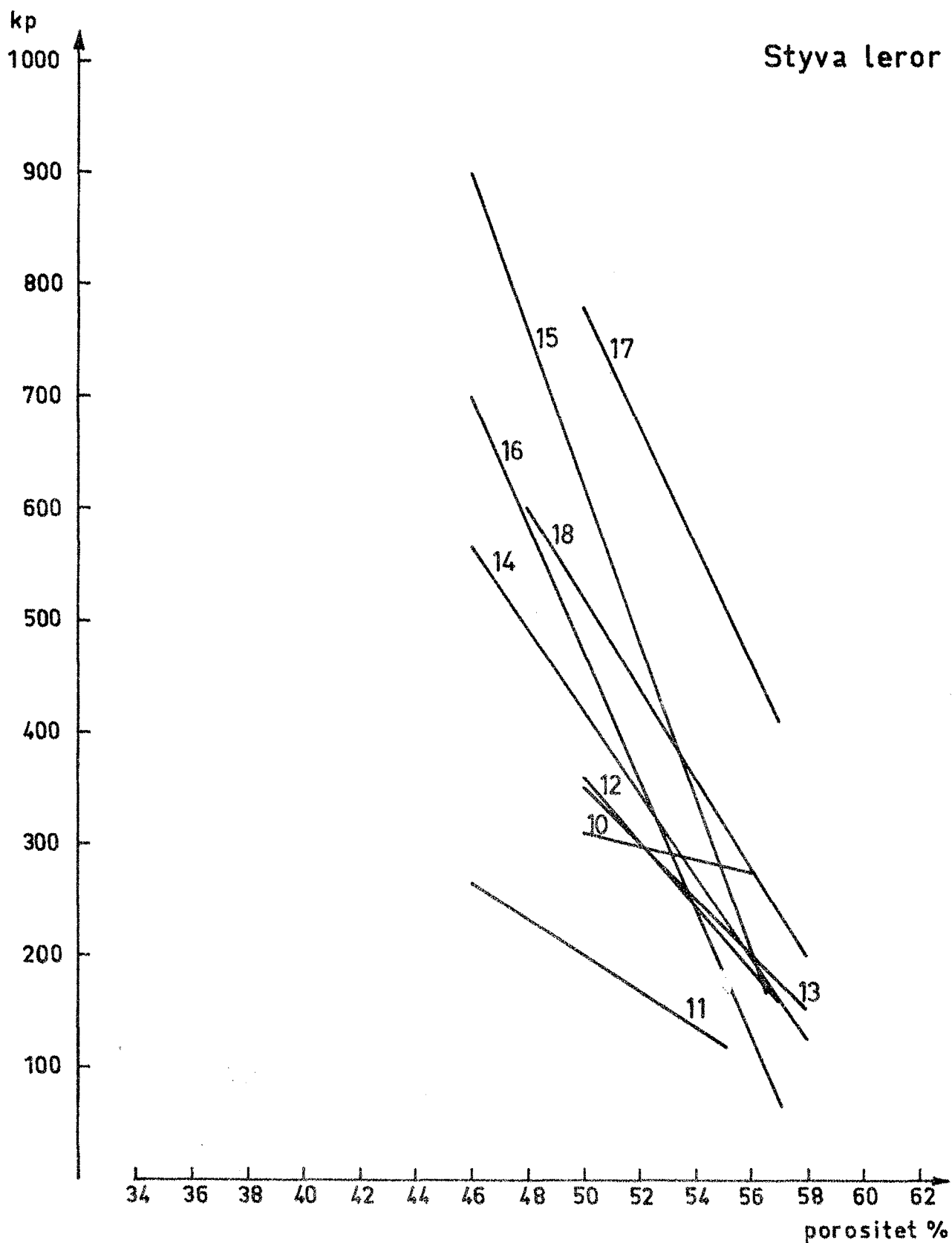
ur 29. Skörden i kg/ha, som funktion av matjordens porositet i de tre olika försommar-klimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Fredrikslund -69.



ur 30. Skörden i kg/ha, som funktion av matjordens porositet i de tre olika försommar-klimaten våt (V), normal (N) och torr (T) försommar i försöket Lönhult VI -69.



ur 31. Skärhållfasthet som funktion av markens porositet. Skärhållfastheten uttryckt som det moment i kp som är nödvändigt för att vrida loss en i jorden nedslagen vingborr. Resultat från mätningar på nio lättleror.



ur 32. Skärhållfasthet som funktion av markens porositet. Skärhållfastheten uttryckt som det moment i kp som är nödvändigt för att vrida loss en i jorden nedslagen vingborr. Resultat från mätningar på nio styva leror.

Tabell 9. Lerhalt och vattenhalt vid provtagningstilllet på de olika provplatserna för vingborrmätning.

Mätning nr	Provplatsens lerhalt %	Vattenhalt vid provtagningstillfället vikt %
1	13,3	17,5
2	14,0	--
3	15,0	12,9
4	15,0	26,9
5	25,0	30,3
6	25,0	19,4
7	25,0	31,8
8	26,0	15,5
9	26,0	17,0
10	35,9	34,4
11	49,2	33,6
12	49,0	31,5
13	49,0	--
14	51,0	26,5
15	51,0	23,1
16	51,0	25,0
17	58,0	23,3
18	58,0	29,5

4.2. Dragmotståndsmätningar på olika packad jord

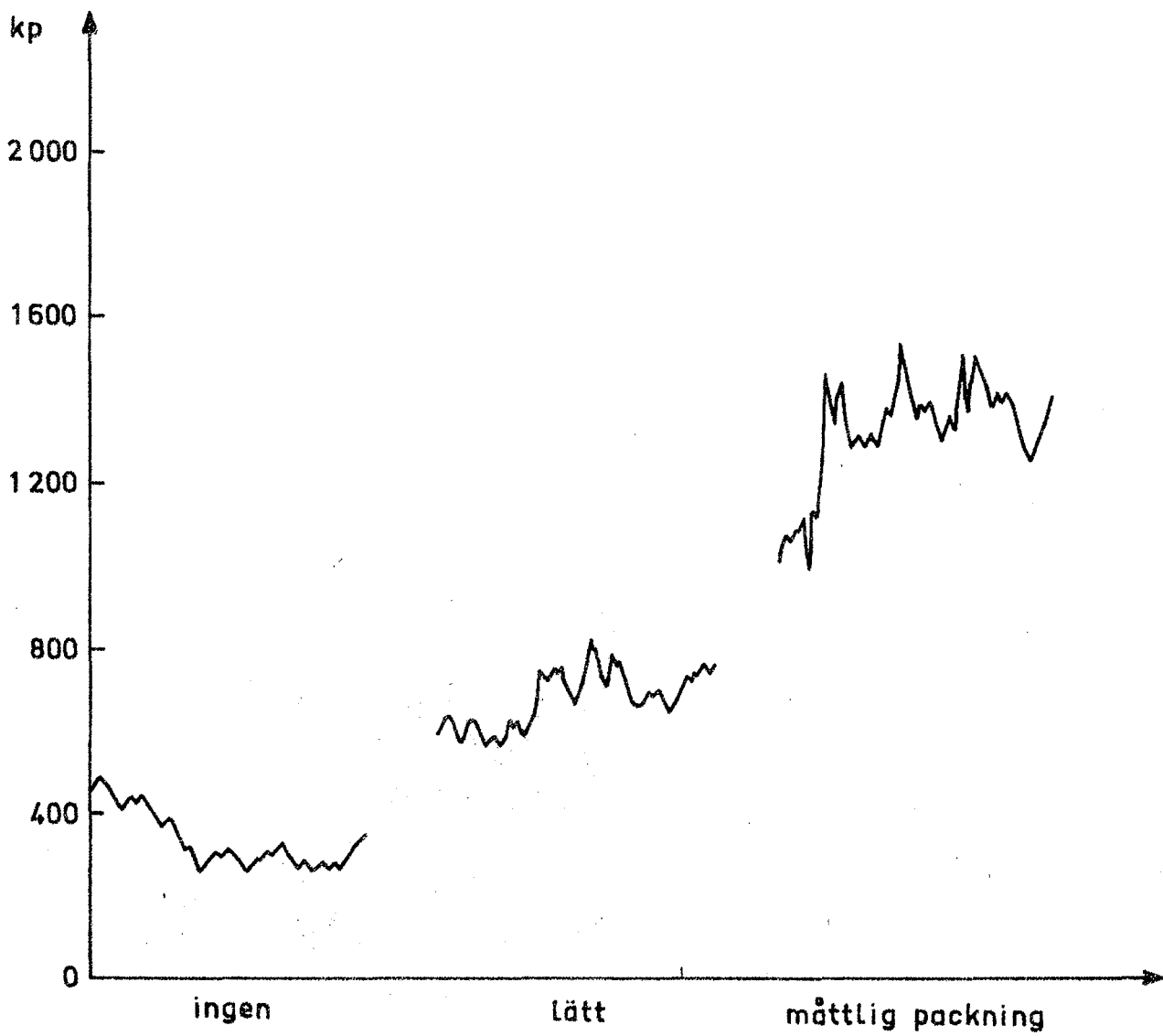
Med Avdelningens för Lantbrukets Hydroteknik, Uppsala 7, utrustning för mätning av motståndet mot en kultivatorpinne, som framförs på 18 cm djup i jorden, har dragmotståndet på olika packad jord mätts upp. Mätningarna har gjorts 1969 på packnings-såtidförsök (se Fergedal 1971). Kultivatorpinnen är monterad på en redskapsbärare. Vid studierna har maskinen framförts längs försöksrutorna. Därvid har dragmotståndet registrerats med en skrivare. Resultaten erhålls på skrivarens remsa. På figur 33 visas ett typiskt skrivardiagram. Mätningarna gjordes på en styv lera och på en lätt lera. De men apparaten uppmätta mätvärdena redovisas i tabell 10 och figurerna 34 och 35.

4.3. Vattengenomsläpplighetsmätningar på olika packad jord

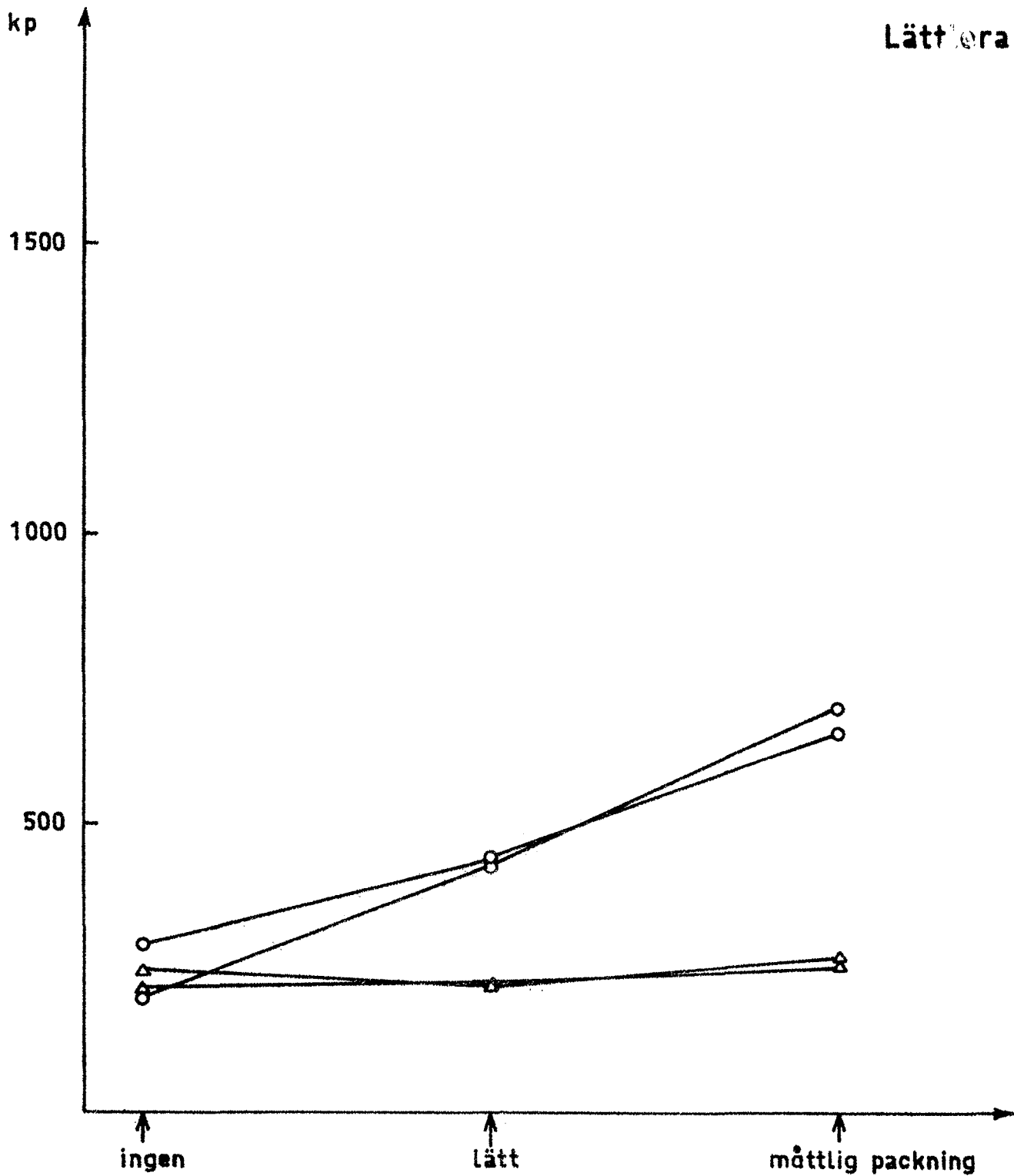
Genomsläppligheten på några olika jordar har bestämts med den av Andersson (1955) utvecklade metodiken. Studierna har utförts dels på ett vårpackningsförsök med några olika förbehandlings av jorden, L:a Sunnersta, dels på ett packnings-såtidförsök, Lönhult. Beträffande dessa försök, se Fergedal (1971). Resultaten visas i tabell 11.

Tabell 10. Dragmotstånd. Medeltal av dragmotstånd mot ett gåsfotskär framfört på 18 cm djup, kp.

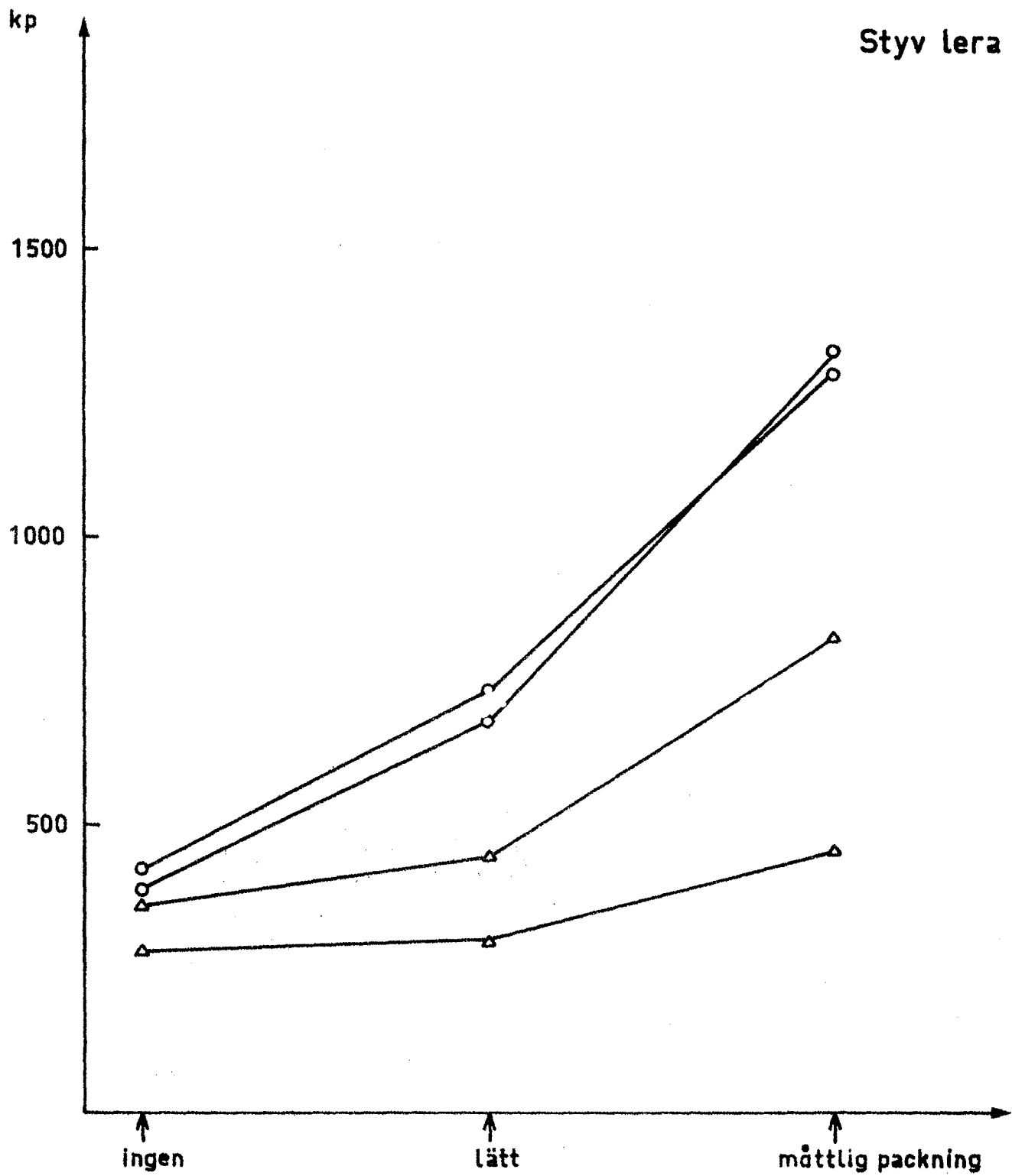
Plats	Jordart	Mycket tidig sädd, packning			Tidig sädd, packning			Normal sädd, packning		
		Ingen	Lätt	Måttlig	Ingen	Lätt	Måttlig	Ingen	Lätt	Måttlig
Ultuna -69	III	390	680	1 320	--	520	870	280	300	460
	I	420	730	1 290	--	600	860	360	450	830
Säby -69	LL	200	430	700	--	340	560	245	230	255
		290	440	660	--	340	450	220	220	270
		--	420	--	--	340	560	350	270	320



ur 33. Exempel på skrivarutslag vid mätning av dragmotstånd i kp mot ett på 18 cm djup i jorden framfört gåsfotskär.



ur 34. Resultat från mätningar av dragmotstånd i kp mot ett på 18 cm djup i en lättlera framfört gåsfotskär. Dragmotstånd vid mycket tidig sådd - o -. Dragmotstånd vid normal sådd - Δ -.



Figur 35. Resultat från mätningar av dragmotstånd i kp mot ett på 18 cm djup i styv lera framfört gåsfotskär. Dragmotstånd vid mycket tidig sådd -o-. Dragmotstånd vid normal sådd -Δ-.

Tabell 11. Genomsläpplighet i olika packad jord, k, cm/tim.

Plats	Behandling	Genomsl., k, cm/tim vid tidpunkten I	Genomsl., k, cm/tim cm/tim ett dygn efter tidpunkten I
L:a Sunnersta	Ej packat, fräst	108,083	75,642
1965, matjord	- " - harvat	35,641	19,878
	Packat omedelb. före sådd	3,355	3,585
	Packat en vecka före sådd	1,039	1,151
	Packat två veckor före sådd	3,908	2,933
L:a Sunnersta	Ej packat, fräst	10,417	2,970
1965, plogsula	- " - harvat	8,332	4,573
	Packat omedelb. före sådd	8,727	3,550
	Packat en vecka före sådd	6,406	2,502
	Packat två veckor före sådd	4,987	3,068
Lönhult 1969	Ej packat	2,402	4,980
matjord, tidig	Lätt packat	0,108	0,172
sådd	Måttl. packat	0,024	0,016

5. Diskussion

5.1. Allmänna kommentarer

Beträffande väderleken under de båda försöksåren kan denna i stort sett sägas ha varit gynnsam för spannmålsproduktion på alla försöksplatserna under år 1968 men icke så gynnsam under 1969. Den allmänna väderleksbilden tecknas av nederbörds- och månadsmedeltemperatursuppgifterna från Ultuna och Hasslarp. På båda stationerna var den sammanlagda nederbörden för månaderna maj, juni och juli under året 1968 normal eller något rikligare än normalt. För Ultuna har dock nederbörden i juni varit liten. Skördemånaderna augusti och september har på båda platserna bjudit på normalvarmt, tämligen torrt skördeväder. Situationen under 1969 var något annorlunda. På Ultuna noterades en relativt nederbördsfattig och på Hasslarp en relativt nederbördsrik försommar. På Hasslarp har dessutom nederbörden fallit med stor intensitet. Bärningsvädret har på båda plat-

serna varit normalt.

En mer detaljerad bild av grödans situation i de olika försöken lämnar avdunstnings-, nederbörds- och bevattningsdiagrammen. Avdunstningsmätningarna avslöjar de väldiga påfrestningarna på vegetationen i landets östra delar. För Uppsalaförsöken var skillnaden mellan uppmätt avdunstning och naturligt fallande nederbörd för månaderna maj och juni ca 240 mm under 1968 och ca 270 under 1969. I detta sammanhang bör det erinras om, att den uppmätta avdunstningen icke direkt kan anses motsvara vegetationens verkliga krav. Då jorden torkar ut, d.v.s. då de vattenhållande krafterna i marken växer, sjunker transpirationen genom växtligheten, under det att avdunstningen från mätaren givetvis är opåverkad. Den avlästa mängden blir således betydligt större än den verkliga transpirationen. Den potentiella evaporationen, som mätaren visar, ger endast den allmänna stressituationen på grödan, icke det exakta nederbördsunderskottet.

I Skåneförsöken har situationen varit annorlunda. Under 1968 var skillnaden mellan avdunstning och nederbörd under perioden 1/5-1/7 140 mm och under 1969 60-90 mm, något olika på de olika försöksplatserna. Påkänningarna på grödan genom torra har sålunda varit betydligt mindre i västra Skåne än i Uppland.

Den noterade skillnaden i avdunstningsklimat i Uppland och i västra Skåne torde i princip kunna sägas vara ett uttryck för en ekologisk skillnad mellan de två områdena av vårt land. Försommartorkan härjar praktiskt taget årligen i östra Sverige men är inte särskilt framträdande i västra. Särskilt svår blir försommartorkan på den lätta jorden i Fredrikslundsförsöket. Det ringa vattenmagasinet i sandjorden medför att denna jord inte har någon buffertförmåga mot torra utan hastigt blir helt tömd på växttillgängligt vatten.

Resultaten från förändringarna i markytans höjd över en fix nivå följer helt förväntningarna, bortsett från försöket Lönhult IX -69. I detta försök har den fixa nivån i samband med omfattande spårbildning vid packningarna ändrats i de olika leden, varför resultaten av mätningarna blivit meningslösa.

Markytans höjdförändringar har legat till grund för bestämningen av markjordens porositet. Till följd av detta blir också de beräknade porositetsförhållandena i försöket Lönhult IX -69 meningslösa.

Skörderesultaten visar, att verkan av packning är olika på olika platser. En viss tendens till att en lätt till måttlig packning kan verka gynnsamt finns i några försök. Speciellt gäller detta under torra förhållanden. I försöken Ultuna -69 och möjligen också Fredrikslund -69 erhålls vid såväl normal som torr försommar positiva effekter av lätt och måttlig packning. I andra försök är effekterna av en lätt eller måttlig packning inga alls eller endast svagt negativa. Detta gäller samtliga nederbördsled i försöket Kungsängen -68 samt Lönhult VI -69. De enda försök där all packning orsakar skördedepressioner är Lönhult -68 och Lönhult IX -69. I Lönhult -68 erhålls t.o.m. starkt positiv verkan av luckring

I samtliga försök utom Lönhult -68, Fredrikslund -69 samt Lönhult VI -69 har intensiv packning lett till kraftiga skördesänkningar. I Lönhult -68 har inga skördeändringar överhuvudtaget kunnat noteras mellan måttlig och stark packning. Hela skördesänkningen erhöles mellan ingen och måttlig packning. I Fredrikslundsförsöket synes packningsfrågorna inte spela någon som helst roll för avkastningen. I Lönhult VI -69 har skördesänkningar erhållits i N- och V-leden, ehuru ej i T-ledet.

Slutsatsen beträffande vårpackningens verkan på skördens storlek blir, att de flesta jordar klarar en lätt, eller möjligen måttlig, packning. Intensiv packning leder däremot på lerjordar i regel till kraftiga skördedepressioner. Effekterna av packning blir dessutom svårare ju nederbördsrikare sommaren är. I ett försök, Kungsängen -68, har dessutom en viktig effekt av intensiv packning noterats, nämligen ökad grönskottsfrekvens. Denna observation bekräftar iakttagelser från praktiska odlingar. Ofta kan man se hur grönskottsfrekvensen på fälten blir större på intensivt packade fläckar, vändtegar och i närheten av utfarter.

I försöken kan också verkning av de nu (1972) så aktuella försommarbevattningarna studeras. Skörderesultaten meddelar, att under de klimatiska betingelser som rådde i Uppsalatrakten 1968 och 1969 är det möjligt, att erhålla stora skördeökningar i stråsäd (korn) genom bevattning under perioden mellan uppkomst och axgång. I Ängelholmstrakten var däremot effekten av försommarbevattning obetydlig eller t.o.m. negativ.

Mellan de olika bevattningsleden var skillnaderna i summan av nederbörd och bevattning större än vad en normal bevattning till en stråsädesgröda är. I regel har de totala nederbördsskillnaderna mellan T och N och N och V-leden varit 100-150 mm, under det att bevattning av spannmål under fältnässiga förhållanden brukar uppgå till totalt 25-40 mm.

Avsikten med de olika försommarklimaten, som framställts genom skärmar och bevattning har varit, att efterlikna torra, våta och normala år. Detta torde icke helt ha lyckats. Om ett år är torrt eller vått bestäms ej endast av nederbörden, utan också av avdunstningssituationen. Under ett vått år är luftens relativa fuktighet stor, varför avdunstningen blir liten. Under ett torrt år blir däremot luftens relativa fuktighet liten och följaktligen blir också avdunstningen hög. Grödan kan inte väntas reagera helt lika för borttagande eller tillförande av nederbörd om avdunstningen är hög och om den är låg. Det betyder, att verkningarna av den ena eller andra packningsgraden ej kan bli helt desamma under naturligt våta eller torra förhållanden som med den i denna försöksserie använda metodiken, skärmar och bevattning. Vissa tydliga tendenser i riktningen av verkan av torra och våta år kan dock urskiljas. I regel blir, som ovan sagts, skördesänkningarna genom intensiv packning större under våta än under torra förhållanden.

I såväl Kungsängs- som Ultunaförsöket har avkastningen i kg/kärna i bästa fall nära nog fördubblats mellan T- och V-leden. N-ledet låg någonstans mitt emellan. De största effekterna av bevattning erhöles i packningsledet 0, ingen packning. Vid intensiv packning blev effekten av bevattning relativt mindre samtidigt som skördenivån sjönk kraftigt. I Kungsängsförsöket var avkastningsnivån för N- och V-leden i stort sett konstant för luckring, ingen packning och måttlig packning. I Ultunaförsöket sjönk däremot avkastningen i V-ledet kraftigt mellan lätt och måttlig packning.

I Fredrikslundsförsöket var skördeökningarna genom bevattning stora oberoende av packningsgraden. Verkningarna av bevattning dominerar skördenivåerna helt och hållet. I V-ledet hade skörden tredubblats jämfört med T-ledet. I Skåneförsöken erhöles relativt obetydliga effekter av bevattning. Oberoende av försommarklimat sjönk skörden vid alla packningsgrader utom i försöket Lönhult VI -69. I försöket Lönhult VI -69 erhöles skördedepressioner för kombinationen våt försommar - intensiv packning, under det att i övrigt vare sig bevattning eller packning syntes ha några större effekter på skörden i försöket.

De särskilda undersökningarna av packningens verkan på jordens fysikaliska egenskaper, vingborrmätningar, dragmotstånd och vattengenomsläpplighet gav mycket intressanta resultat, som sekundärt kan bidra till att förklara vissa effekter av packning.

Såväl vingborrmätningar som dragmotståndsmätningar visade, att packning ökar jordens mekaniska motstånd mot sönderskärning och lossbrytning. Detta betyder, att det går tyngre att plöja packad jord än opackad. Det konstaterades också, att verkningarna av packning blev mindre om jorden

packats i mer uttorkat tillstånd, än om den packats i fuktigt.

Genomsläpplighetsstudierna visade hur permeabilitetskoefficienten sjunker då jorden packas. Detta betyder, att infiltration och upptorkning efter kraftiga regn kan bli märkbart ändrade av packning. En intressant detalj framgår av tabell 11. Permeabilitetskoefficienten i matjordarna från L:a Sunnersta och Säby undergick inga eller endast små förändringar mellan de två mätningstillfällena. Däremot sjönk permeabiliteten markant i proven från plogsulan på L:a Sunnersta. Detta antyder, att plogsulan, som årligen utsätts för packning och ältning, har utbildat en betydligt svagare struktur än matjorden, som inte utsätts för samma intensiva behandling av tillsmetande, slirande hjul och redskap.

5.2. Slutdiskussion och sammanfattning

Försöksresultaten tyder på, att de kortsiktiga verkningarna på spannmålsskördens storlek av lätta och måttliga packningar på de flesta jordar är relativt små. Under torra betingelser kan lätt och måttlig packning t.o.m. ha gynnsamt inflytande på skördens storlek (Ultuna -69). Däremot ledde intensiv packning till skördesänkningar i alla försök som låg på styva leror. På de lättare jordarna var effekterna av intensiv packning inga eller små (Fredrikslund -69 och Lönhult VI -69). På en jord har också måttlig packning orsakat stora skördeninsknningar (Lönhult XI -68). Packning tenderar dessutom att verka mer skördesänkande under våta än under torra förhållanden (se också Fergedal 1971).

I Uppland är de skördeökningar som är möjliga att erhålla genom förbättrat tillgodoseende av vattenfaktorn stora. I försöken kunde man på den mest torkkänsliga jorden, Fredrikslunds sand, höja skörden till mer än 300 % av det torra ledets genom bevattning. I samtliga tre uppländska försök var det ifförsöksleden ingen eller lätt packning möjligt att höja skörden till ca 2 000 kg över det torra ledets. Vid intensiv packning blev verkan av bevattning på lerjordarna obetydlig eller negativ (Kungsängen -68 och Ultuna -69).

I västra Skåne var verkningarna av bevattning obetydliga eller negativa. De helt olika effekterna av bevattning i Uppland och västra Skåne måste orsakas av skillnader i klimatets karaktär, vilket också framgår av avdunstnings- och nederbörds-mätningarna. Avdunstningsklimatet var under försöksåren mycket mer påfrestande för grödan i Uppland än i västra Skåne.

De särskilda undersökningarna av packningens verkningar på jordens mekaniska egenskaper och vattengenomsläpplighet har givit intressanta bidrag

till bilden av packningens följder. Packning gör, att jordbearbetningsredskapen går tyngre, och att markens permeabilitet minskar.

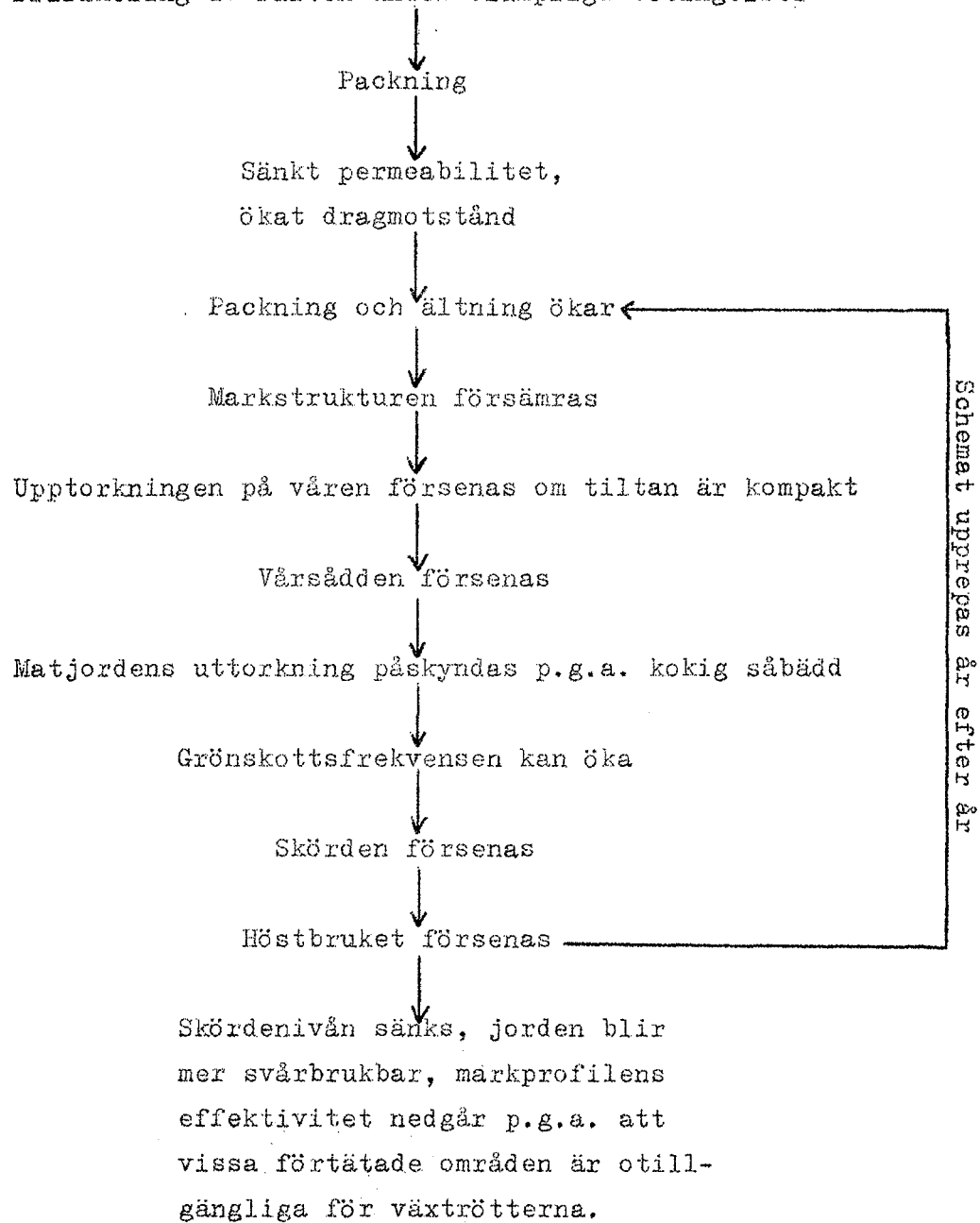
De experimentella resultaten kan sammanfattas i följande bild. En till följd av omfattande odling av spannmål och oljeväxter ständigt återkommande packning kan under olyckliga betingelser tänkas ge upphov till en ond cirkel. Kortsiktigt blir det ingen skördesänkning av normala packningsintensiteter. Höstplöjningen av den packade jorden går emellertid tyngre och tager följaktligen något längre tid. I den mån tunga höstregn faller, blir jorden onormalt fuktig på grund av nedsatt permeabilitet. Ältningen under traktorhjul och plogkroppar ökar. Jorden kan i sämsta fall lämnas inför vintern i ett betydligt försämrat skick. Vinterns tjäle gör sitt för att förbättra situationen. Enligt Håkansson och Fergedals (1970) försöksresultat utplånas emellertid inte packningens verkningar över vintern. Den nedsatta permeabiliteten kan tänkas ge upphov till försenad upptorkning vilket också kan iakttagas i försök och på packade fläckar på fälten. Vårsådden försenas. Försommarens torra drabbar en sent sådd gröda svårare än en tidigt sådd. Möjligen ökas grönskottsfrekvensen. Skörden försenas och kan beroende på sommarens klimat bli sänkt (försommartorka) och av nedsatt kvalitet (grönskott). Höstplöjningen blir försenad. Ökat dragmotstånd, höstregn, slirning och ältning ackumulerar ytterligare negativa effekter av packning till de tidigare. Cirkeln är sluten. Hela det fysikaliskt-keniskt-biologiska komplexet jord ställer in sig på en ny, sänkt bördighetsnivå. Orsaks-sammanhanget kan sammanfattas i figur 36.

En liten detalj särskilt värd att bli observerad är den med tiden sjunkande permeabiliteten i plogsulan på L:a Sunnersta. Den ständiga svåra packningen och ältningen av detta skikt leder till sänkt strukturkapacitet vilket bl.a. yttrar sig i igenslämningsbenägenhet. På grund av den kraftiga mekaniska påverkan är strukturen i skiktet praktiskt taget nedbruten till en enkelkornstruktur. Regenerationsprocesserna, uttorkning - befuktning, tjälning, maskar, rötter, o.s.v., behöver lång tid för att åstadkomma någon förbättring. På grund av den svaga strukturen hinner de aldrig slå igenom innan den mekaniska åverkan återkommer och situationen är lika dålig igen. I någon mån kan detta sägas vara ett koncentrat av packningsproblematiken i sin helhet, såsom den t.ex. kommer till uttryck i fig. 36. Den mest intensivt packade jorden har svårast att komma ur det förtätade tillståndet.

Under praktiska förhållanden kan tvillingmontage av traktorernas bakhjul vara en lämplig väg att eliminera den intensiva packningen. Fälten blir dessutom jämnare packade (se Fergedal 1971). Ytterligare en fördel

Figur 36. Packningens onda cirkel. Modell för hur verkningarna av packning kan tänkas ackumuleras.

Trafikering av fälten under olämpliga betingelser



är, att den så kallade markgreppskoefficienten, d.v.s. förhållandet mellan traktorvikt och dragkraft, stiger, varför slirningen minskar (se t.ex. Eriksson 1971).

I litteraturöversikten diskuterades de olika verkningar packning kan ha på växtrötternas möjligheter, att effektivt väva igenom jordprofilen. Stora effekter av packning brukar i första hand antagas bero på mekaniskt motstånd mot rotframträngning eller på syrebrist. Av resultaten, icke endast från denna försöksserie utan även t.ex. Fergedals (1971), förefaller det som om syrefrågorna spelar stor roll för effekten av en packning. Försöksresultaten pekar på att konsekvenserna av en viss packning i regel blir svårare under våta än under torra förhållanden. Samtidigt är det uppenbart, att jordens hållfasthet avtager vid ökande vattennätnadsgrad. Detta betyder, att det mekaniska motståndet mot rotframträngning avtager från det torrare till det våtare vattenhaltsområdet. Det mekaniska motståndet bör sålunda icke vara orsaken till, att skörden i många fall sjunker vid intensiv packning. Mycket talar för, att man åtminstone under våta förhållanden har att göra med verkningar av syrefaktorn. Å andra sidan torde det mekaniska motståndet komma med i bilden på den torrare sidan.

6. Litteraturförteckning

- Andersson, S. 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VII. En experimentell metod. Grundförbättring 8. Specialnummer 2.
- Andersson, S. 1969. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XVIII. Om en ny och enkel evaporimeter. Grundförbättring 22, 59-66.
- Andersson, S. och Håkansson, I. 1963. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord XIV. Om ett par nya metoder att bestämma markytans mikrotopografi, dess höjdförändringar och matjordens porositet. Grundförbättring 16, 1-26.
- Andersson, S. och Wiklert, P. 1959. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord XI. Studier av några markprofiler på Ultuna egen-
dom. Grundförbättring 12, 3-195.
- Barley, K.P. 1963. Influence of soil strength on growth of roots. Soil Sci. 96, 175-180.
- Baver, L.D. 1956. Soil Physics. J. Wiley & Sons, Inc., New York and London.
- Bertilsson, G. 1969. Studier över tryckets markpåverkan. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen 18.
- Blake, G.R. och Page, J.B. 1948. Direct Measurements of Gaseous Diffusion in Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13, 37-42.
- Buckingham, E. 1904. Contribution to our knowledge of the aeration of soils. Bull. Div. Soils. US. Dep. Agric. 25.
- Cannon, W.A. 1925. Physical features of roots with especial reference to the relation of roots to aeration of the soil. Publ. Carnegie Inst. 368.
- Compaction of Agricultural Soils. 1971. Amer. soc. of agr. engineers. St. Joseph. Mich. 1971.
- Currie, J.A. 1960. Gaseous diffusion in porous media. Part 1. A non steady state method. British Journ. Appl. Phys. 11, 314-317.
- Currie, J.A. 1960. Gaseous diffusion in porous media. Part 2. -Dry granular materials. British Journ. Appl. Phys. 11, 318-324.
- Currie, J.A. 1960. Gaseous diffusion in porous media. Part 3. -Wet granular materials. British Journ. Appl. Phys. 12, 275-281.
- Currie, J.A. 1971. Movement of gases in soil respiration. SCI Monograph no 37, 152-71.
- Edling, A.P.G. 1968-71. Olika packningsgrader i matjorden, ett modellförsök. Examensarbete i Jordbearbetning.

- Edling, A.P.G. Opubl. undersökningar rörande gastransport i jord.
- Eriksson, J. 1971. Traktorn och marken. Traktorjournalen 23, 346-349.
- Fergedal, L. 1971. Jordpackning med traktor vid olika tidpunkter för vårsädd. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen 26.
- Feuerlein, W. 1961. Zum Einfluss der Schleppeerrads auf den Acker. Landbauforschung 3, 69-72.
- Gardner, H.R. och Danielsson, R.E. 1964. Penetration of wax layers by cotton roots as affected by some soil physical conditions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28, 457-460.
- Gill, W.R. och 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. Amer. Proc. 20, 154-157.
- Greacen, E.L., Barley, K.P. och Farrel, D.A. 1968. The mechanics of root growth in soils with particular reference to the implications for root distribution. Root growth proc. 15th easter school in agr. sci. Univ. Nottingham, 256-269.
- Hill, J.N.S. och Summer, M.E. 1967. Effects of bulk density on moisture characteristics of soils. Soil Science 103, 234-238.
- Holmes, J.W., Greacen, E.L. och Gurr, C.G. 1960. The evaporation from bare soils with different tilths. Trans. 7th Int. Cong. of Soil Science.
- Håkansson, I. 1965. Några markstrukturasppekter på den moderna jordbruksdriften. Grundförbättring 18, 121-136.
- Håkansson, I. 1966. Försök med olika packningsgrader i matjordens och alvens översta del. Grundförbättring 19, 281-332.
- Håkansson, I. och Fergedal, L. 1970. Försök med jordpackningens ackumulativa efterverkningar. Preliminär redogörelse. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen 22.
- Håkansson, I. 1972. Hur mycket betyder de tunga maskinernas packning av matjorden? 4 vetenskapliga synpunkter på jordpackning. ANA-maskin, Nyköping.
- Johansson, W. 1969. Meteorologiska elements inflytande på avdunstningen från Anderssons evaporimeter. Grundförbättring 22, 83-105.
- Koenigs, F.R. 1963. The puddling of clay soils. Netherl. J. Agric. Sci. 11, 145-156.

- Larpe, G. 1962. Vårens traktorspår i mark och gröda. Från sådd till skörd 2, 78-82.
- Moberg, H. och Eriksson, J. 1967. Marken och maskinerna. Kgl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskr. 106, 73-94.
- Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång i Sverige. SMHI årsbok, Vol. 1 och 2, * del 1. Stockholm 1969 och 1970.
- Nederbörden i Sverige. SMHI årsbok, Vol. 51 och 52, del 2.1. Stockholm 1969 och 1970.
- Njøs, A. 1962. Norske førsøeg med tromling og hjultrykk 1957-1961. Grundförbättring 15, 248-257.
- Olvegård, P. 1965. Stenfältsförsöket. Skaraborgs läns Hushållningssälls- skaps Tidning 1965. 105-106.
- Penman, H.L. 1940. Gas and vapour movements in the soil. I. The diffu- sion of vapours through porous solids. J. Agric. Sci. 30, 437-462.
- Pfeffer, W. 1893. Druck und Arbeitsleistung durch wachsende Pflanzen. Abhandl. d. mathematisch-physischen Classe d. Königl. Sach- sischen Gesellschaft d. Wissenschaften 20, 234-474.
- Proctor, R.R. 1933. On construction of rolled-earth clams. Engineering News-Record 3, 286-289.
- Romell, L.G. 1922. Luftväxlingen i marken som ekologisk faktor. Meddelan- den från Statens Skogsförsöksanstalt 19, 131-359.
- Schaffer, G. 1960. Eine Methode der Abscherwiderstandsmessung bei Acker- böden zur Beurteilung ihrer Strukturfestigkeit im Felde. Landw. Forsch. 13, 24-33.
- Schuurman, J.J. 1965. Influence of soil density on root development and growth of oats. Plant and Soil 22, 352-374.
- Taylor, H.M. och Gardner, H.R. 1960. Use of wax substrates in root pe- netration studies. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24, 79-81.
- Taylor, H.M., Parker, J.J. och Robersson, G.M. 1966. Soil strength and seedling emergence relations. Agron. J. 58, 393-396.
- Taylor, H.M., Robersson, G.M. och Parker, J.J.Jr. 1966. Soil strength - root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. Soil Sci. 102, 18-22.

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

Wiklert, P. 1961. Om sambandet mellan markstruktur, rotutveckling och upptorkningsförlopp. Grundförbättring 14, 221-239.