

225

Norsk landbruksforskning

Norwegian Agricultural Research

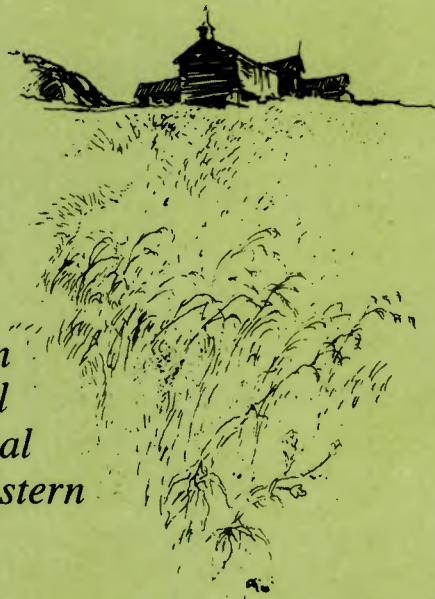
Supplement No. 3 1987

Trond Børresen

Tre jordarbeidingsystemer
for korn kombinert med
ulik pakking og halmdekking,
virkning på avling, jordtemperatur
og fysiske egenskaper på leirjord
i Ås og Tune, 1983 – 1984

*Effects of three tillage systems
combined with different compaction
and mulching treatments, on cereal
yields, soil temperature and physical
properties on clay soil in South-Eastern
Norway*

15 JAN. 1988



Norsk institutt for landbruksforskning
Bibliotek
P.B. 61 - 1432 ÅS-NLN

Statens fagtjeneste for landbruket, Ås, Norge
Norwegian Agricultural Advisory Centre, Ås, Norway

NORSK LANDBRUKSFORSKING/NORWEGIAN AGRICULTURAL RESEARCH

Norsk landbruksforskning er en fortsettelse av *Meldinger fra Norges landbrukshøgskole og Forskning og forsøk i landbruket* og dekker et publiseringsbehov for norske forskningsresultater innenfor fagområdene:

Akvakultur/*Aquaculture*

Husdyrbruk/*Animal Science*

Jordfag/*Soil Science*

Landbruksteknikk/*Agricultural Engineering and Technology*

Naturgrunnlag og miljø/*Natural Resources and Environment*

Næringsmiddelteknologi og -hygiene/*Food Technology*

Plantedyrking jord- og hagebruk/*Crop Science*

Skogbruk/*Forestry*

Økonomi og samfunnsplanlegging/*Economics and Society Planning*

Tidsskriftet har abstrakt, figur- og tabelltekster, overskrift samt nøkkelord på engelsk.

Articles published in the journal will always contain titles, abstracts, key words and figures and tables legends in English.

Ansvarlig redaktør/*Managing Editor*, Jan A. Breian

Fagredaksjoner/*Subject Editors*

Akvakultur

Åshild Krogdahl, NLVF – Institutt for akvakulturforskning

Ragnar Salte, NLVF – Institutt for akvakulturforskning

Odd Vangen, Institutt for husdyravl

Husdyrbruk

Arne Hogstad, Statens fagtjeneste for landbruket

Toralv Matre, Institutt for husdyrernæring

Anders Skrede, Institutt for fjørfe og pelsdyr

Jordfag

Ole Øivind Hvatum, Institutt for jordbunns lære

Ådne Håland, Statens forskingsstasjon Særheim

Edvard Valberg, Statens fagtjeneste for landbruket

Landbruksteknikk

Sigmund Christensen, Institutt for maskinlære

Einar Myhr, Institutt for hydroteknikk

Karl Alf Løken, Institutt for bygningsteknikk

Geir Tuttoren, Landbruksteknisk institutt

Naturgrunnlag og miljø

Arnstein Bruaset, Statens fagtjeneste for landbruket

Sigmund Huse, Institutt for naturforvaltning

Hans Staaland, Institutt for zoologi

Næringsmiddelteknologi og -hygiene

Grete Skrede, Norsk institutt for næringsmiddelforskning

Kjell Steinholt, Institutt for meieri- og næringsmiddelfag

Arne H. Strand, Institutt for meieri- og næringsmiddelfag

Plantedyrking jord- og hagebruk

Even Bratberg, Statens fagtjeneste for landbruket

Arne Oddvar Skjelvåg, Styringsutvalget for

landbruksmeteorologisk forskning

Sigbjørn Vestrheim, Institutt for frukt dyrking

Kåre Årsvoll, Statens fagtjeneste for landbruket

Skogbruk

Birger Halvorsen, Norsk institutt for skogforskning

Martin Sandvik, Norsk institutt for skogforskning

Asbjørn Svendsrud, Institutt for skogøkonomi

Økonomi og samfunnsplanlegging

Anders Lein, Statens fagtjeneste for landbruket

Kjell Bjarte Ringøy, Norsk institutt for

landbruksøkonomisk forskning

Hans Sevatdal, Institutt for jordskifte og arealplanlegging

UTGIVER/PUBLISHER

Statens fagtjeneste for landbruket/*Norwegian Agricultural Advisory Centre*, Moerveien 12, 1430 Ås, Norway. Norsk landbruksforskning/*Norwegian Agricultural Research* (ISSN 0801-5333) blir utgitt med fire hefter pr. år som utgjør et volum. Hvert hefte vil være på ca. 100 sider. Abonnementsprisen er NOK 300,- pr. år. Eventuelle supplementer vil bli sendt gratis til abonnenter, men kan bestilles separat hos utgiveren. Det gis muligheter for abonnement på enkeltartikler/supplementer innenfor ett eller flere av de nevnte fagområder. Abonnementsprisen er NOK 100,- for 5 artikler/supplementer fra ønskede fagområder. Artiklene vil bli sendt som særtrykk.

KORRESPONDANSE/CORRESPONDENCE

All korrespondanse av redaksjonell eller forretningsmessig karakter skal sendes til Statens fagtjeneste for landbruket/*Norwegian Agricultural Advisory Centre*.

Tegningen på omslaget er fra «*Gutene på broen*» av Kjell Aukrust.

ISSN 0801-5333

Trond Børresen

Tre jordarbeidingsystemer for korn
kombinert med ulik pakking, virkning på avling,
jordtemperatur og fysiske egenskaper på leirjord
i Ås og Tune, 1983 – 1984

*Effects of three systems
combined with different compaction
and mulching treatments, on cereal yields,
soil temperature and physical properties
on clay soil in South-Eastern Norway*

Norsk institutt for skogforskning

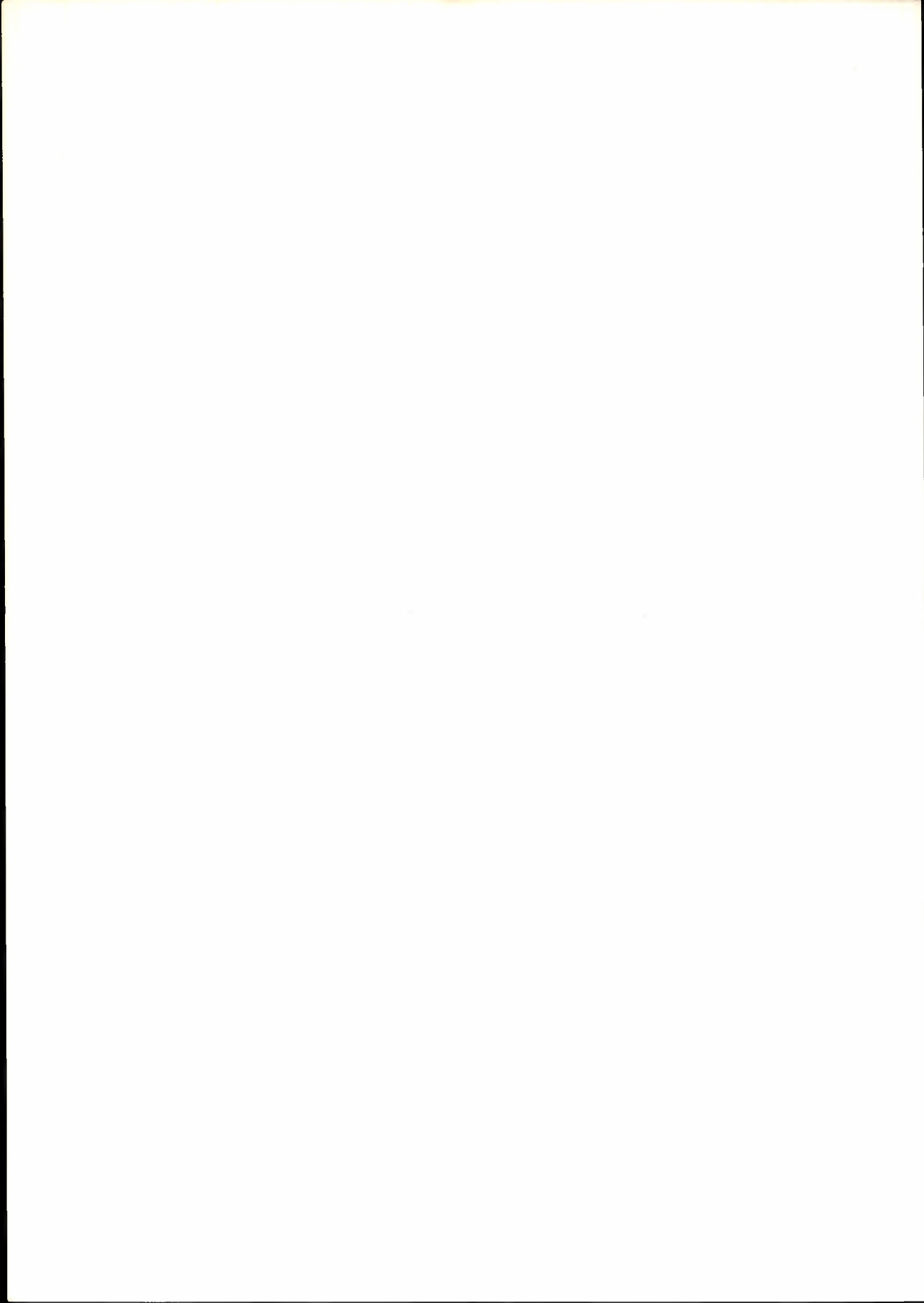
Biblioteket

P.B. 61 - 1402 ÅS-NLH

Institutt for jordkultur
Norges Landbrukshøgskole

*Department of soil fertility and management
Agricultural University of Norway*

1987



TROND BØRRESEN, Department of soil fertility and management,
P.O.B. 28, Agricultural University of Norway, N-1432 Ås-NLH,
Norway.

TRE JORDARBEIDINGSSYSTEMER FOR KORN KOMBINERT MED ULIK
PAKKING OG HALMDEKKING. VIRKNING PÅ AVLING, JORDTEMPERATUR OG
FYSISKE EGENSKAPER PÅ LEIRJORD I ÅS OG TUNE, 1983 - 1984

EFFECTS OF THREE TILLAGE SYSTEMS COMBINED WITH DIFFERENT
COMPACTION AND MULCHING TREATMENTS, ON CEREAL YIELDS, SOIL
TEMPERATURE AND PHYSICAL PROPERTIES ON CLAY SOIL IN SOUTH-
EASTERN NORWAY

Abstract

Direct-drilling and reduced tillage were compared with conventional tillage (ploughing) in three field experiments on clay soils in south-eastern Norway. In one of the field experiments, the treatments included compaction and mulching in addition.

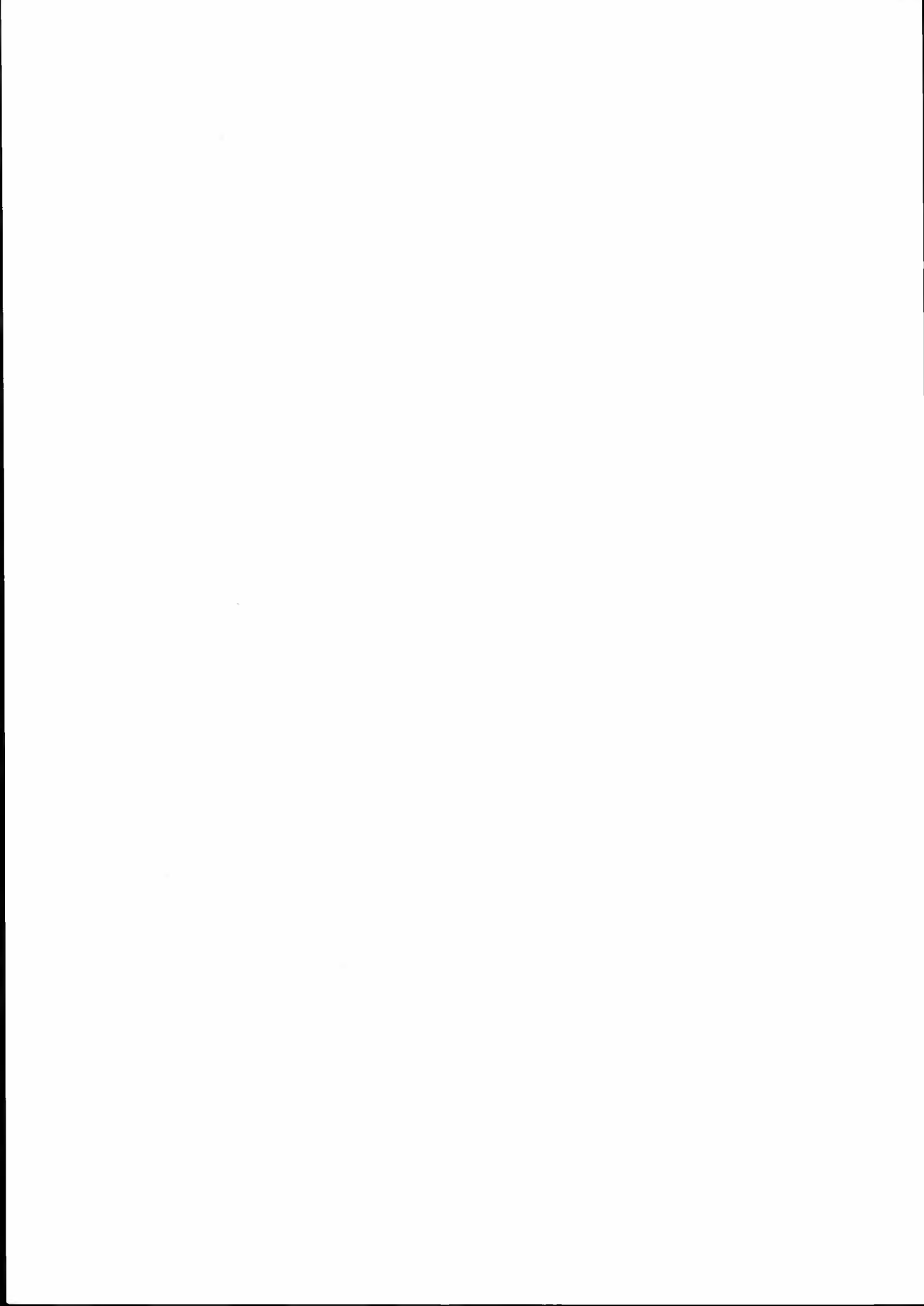
Measurements of soil temperature and soil moisture were made periodically at different soil depths over two growing seasons. Soil chemical and physical analyses were performed and some thermal properties were calculated. The yields of grain and straw and the weedcover were recorded. The crops were barley (Hordeum vulgare L.), oats (Avena sativa L.) and winter wheat (Triticum aestivum L.).

The amplitude of soil temperature in 2 and 6 cm depth were smaller for direct drilled, compacted or mulched soil, as compared to conventionally tilled, bare soil. Mulching reduced the mean temperature at 2, 6 and 24 cm depth. The thermal properties were influenced by tillage systems, compaction and mulching.

Measurements of porosity and bulk density indicated a natural loosening of unploughed soil during the winter. This loosening was far less than that achieved by autumn ploughing. Measurements made after harvest revealed no differences in these properties between tillage treatments.

Grain yields varied little between the different tillage systems. Perennial weeds, especially couch grass (Elytrigia repens L. Nevski) were difficult to control without tillage.

Keywords: cereals, conventional tillage, reduced tillage, direct-drilling, compaction, mulching, soil temperature, soil thermal properties, yields, weeds, porosity, bulk density, penetration resistance, available water capacity, soil moisture.



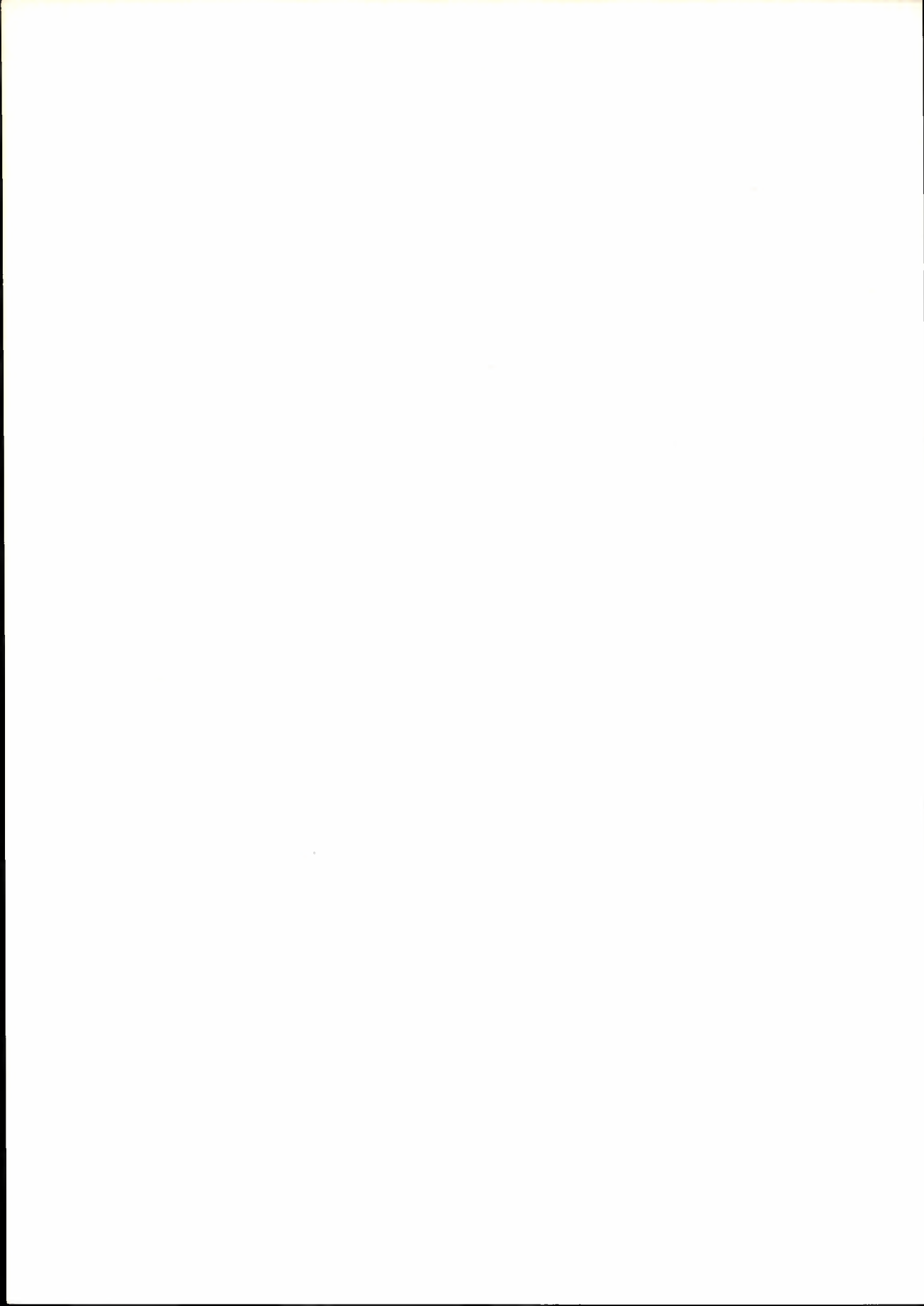
FORFATTERENS TAKK

Først og fremst vil jeg takke professor Arnor Njøs som har vært veileder i mitt dr. scient-arbeid. Han har vist stor interesse for dette arbeidet og det har vært en lærerik tid. Det forhold at hans veiledning ble bygget på samarbeid og gjensidig respekt, ga meg en ekte oppmuntring og støtte allerede fra begynnelsen.

Jeg takker alle ansatte ved Institutt for jordkultur for det fine miljøet de har skapt på vår arbeidsplass. En spesiell takk til fagassistent John Karlstad som har vært til stor hjelp for meg.

Den viktigste støtten i disse årene har jeg imidlertid fått av min kjære Vigdis.

Ås-NLH, nov. 1986
Trond Børresen



INNHOOLD

1. Innledning	1
2. Oversikt over tidligere undersøkelser	4
2.1. Innledning. Definisjon av begreper	4
2.2. Jordtemperatur	6
2.3. Jordstruktur	14
2.4. Tilgang og forbruk av vann	16
2.5. Plantevekst og avling	19
3. Materiale og metoder	22
3.1. Beliggenhet av forsøkene	22
3.2. Jord	22
3.3. Klima	29
3.4. Forsøksplaner og behandlinger	30
3.5. Målemetoder	34
3.5.1. Jordtemperatur	34
3.5.2. Jordfuktighet	35
3.5.3. Kornstørrelsesfordeling	36
3.5.4. Volum- og tetthetsmålinger i jord	36
3.5.5. Trykkfasthet	37
3.5.6. Kjemiske jordanalyser	38
3.5.7. Avling, kjemiske planteanalyser og ugras.	38
3.6. Beregninger	39
3.6.1. Jordtemperaturdata	39
3.6.2. Statistiske metoder	41
4. Resultater og diskusjon	43
4.1. Jordtemperatur	43
4.1.1. Døgnvariasjon for jordtemperatur	44
4.1.2. Døgnmidler av jordtemperatur i mai	58
4.1.3. Ukemidler av jordtemperatur i vekstsesongen	69
4.1.4. Termisk diffusivitet	71
4.1.5. Volumetrisk varmekapasitet	78
4.1.6. Varmeledningsevne	82

4.1.7.	Midlere jordtemperatur for 5-dagers perioder	86
4.1.8.	Midlere maksimumstemperatur for 5-dagers perioder	89
4.1.9.	Midlere minimumstemperatur for 5-dagers perioder	92
4.1.10.	Midlere temperaturamplitude for 5-dagers perioder	95
4.2.	Vann. Lagringsevne og lagerendringer	99
4.2.1.	Vannlagringsevne	100
4.2.2.	Endringer i vannlagret	104
4.2.3.	Endringer i vannsuget	107
4.3.	Fysiske og kjemiske forhold i jorda	109
4.3.1.	Trykkfasthet	109
4.3.2.	Jordtetthet	114
4.3.3.	Porevolum	117
4.3.4.	Luftvolum	120
4.3.5.	Porestørrelsesfordeling	122
4.3.6.	Innhold av organisk stoff, fosfor, kalium og kalsium i jorda	125
4.4.	Kornavling og kornkvalitet	127
4.4.1.	Avling av korn og halm	127
4.4.2.	Forholdet mellom korn- og halmavling, kornprosent	130
4.4.3.	Tørrstoffprosent i korn og halm	131
4.4.4.	Hektoliter- og tusenkornvekt	133
4.4.5.	Næringsinnhold i korn og halm	135
4.4.6.	Kveke og andre ugras	139
4.5.	Samlet vurdering	142
5.	Sammendrag	149
6.	Summary	153
7.	Litteratur	157
8.	Vedlegg	176

1. INNLEDNING

Det er mange faktorer som påvirker planteproduksjonen; klima, terreng, jord, dyrkingsteknikk og plantemateriale. Jordarbeidinga som er en del av dyrkingsteknikken, er et grunnleggende arbeid i jordbrukets planteproduksjon.

Det er spor etter jordarbeiding fra den første tiden menneskene begynte å dyrke nyttevekster. På helleristninger, krukker o.l. er et ard-lignende redskap ofte avbildet. Jordarbeidinga endret seg lite inntil veltefjølsplogen ble innført i europeisk jordbruk fra midten av det attende århundre. Allerede 2000 år tidligere hadde bøndene i Kina benyttet et redskap som vendte jorda, altså plogen (TORSTENSSON, 1955). I Europa var under tiden arden blitt utstyrt med veltefjøl, men denne var rett og hadde liten vendevirkning. Tomas Jefferson utviklet i 1798 en matematisk metode for å beregne krumming og form på ei veltefjøl (JOPE, 1956). Med stålpløgen som etter hvert ble tatt i bruk, åpnet det seg nye muligheter i jordbrukets planteproduksjon. Fra å drive ensidige kornomløp kunne nå fordelene med å innføre eng i omløpet utnyttes og samtidig holde flerårige ugras under kontroll (NJØS, 1959). Utviklingen mot dypere jordarbeiding hadde nok startet tidligere. I Nord-Europa der jorda var tyngre og flerårige ugras et større problem enn i middelhavslandene, var det nok nødvendig med dypere jordarbeiding. JETHRO TULL (1733) sto for den filosofi at dess dypere en arbeidet jorda dess bedre for plantene. Hans idé om at dyp jordarbeiding gjorde jorda mer fruktbar og nærmest kunne erstatte husdyrgjødsel, fikk betydning for utviklingen av jordarbeidinga i det attende århundre.

Målsettingen med jordarbeidinga har nok vært den samme hele tiden, nemlig å optimere vekstbetingelsene for plantene. Mål

og virkemidler var neppe særlig klare i begynnelsen, men i løpet av det attende århundre utvides kunnskapene om jordarbeiding mye (THAER, 1802). Plogen ble etter hvert symbolet for jordarbeiding og moderne plantedyrking. Imidlertid falt noen av forutsetningene for bruk av plogen bort og i visse områder innså en uheldige følger ved bruk av plogen. Etter den andre verdenskrigen begynte de kjemiske plantevernmidlene å komme i bruk. I flere land begynte i 1960-årene en overgang til mer ensidig kornproduksjon igjen. Andre forhold fikk også betydning etter hvert. Pløying er den mest energikrevende delen av jordarbeidinga (NLVF, 1983). Prisen på olje steg kraftig etter oljekrisa i 1973. Pløying er ikke bare energikrevende, men også tidkrevende. Spesielt for høstkorndyrking er tiden fra høsting til såing ofte knapp. Den tiden som er til rådighet, ble heller mindre når skurtreskeren overtok for selvbinderen. Pløyd jord var tørkesvak og dessuten utsatt for vann- og vinderosjon. I 1920- og 1930-årene innså H. H. Bennett den faren erosjon virkelig var for hele planteproduksjonssystemet (BENNETT, 1939). Disse forhold tvang fram nye tanker og ny teknologi for jordarbeiding.

De nye jordarbeidingssystemene som ble utviklet, hadde mange positive sider framfor den tidligere teknikken, men også ulemper. Planteetableringen blir ofte dårlig fordi halmrester fører til spireproblemer. Risikoen for insekts- og sykdomsangrep er større. Bruk av større kvanta plantevernmidler for å beherske ugraset, belaster miljø og natur. Under fuktige klimaforhold blir jorda for tett og hjulspor fører til ujevn overflate.

Dette arbeidet har hatt til hensikt å studere tre ulike jordarbeidingssystem. Det er lagt vekt på systemenes virkning på temperaturforholdene i jorda fordi jordtemperaturen kan bety mye for kornproduksjonen i våre marginale områder. Dette er lite undersøkt i Norge tidligere. Det er i praksis avling-

ene og det økonomiske resultatet som er av størst interesse for bøndene. I opplegget inngikk derfor også avlingsregistreringer ved siden av målinger av fysiske og kjemiske forhold i jorda.

2. OVERSIKT OVER TIDLIGERE UNDERSØKELSER

2.1. INNLEDNING. DEFINISJON AV BEGREPER

Pløying og annen dyp jordarbeiding har et stort trekkraftbehov og er energikrevende. I tidligere tider var ressursene på dette området svært begrenset med det resultat at arbeidsdybden var liten. I dag er ikke arbeidsdybden et teknisk problem, men et økonomisk og miljømessig spørsmål.

I THAERS lærebok fra 1802 begrunnes nødvendigheten av jordarbeiding først og fremst med fysiske og kjemiske forhold i jorda. Ugraskontrollen nevnes, men tillegges mindre betydning. Disse ideer finnes også i annen tysk og fransk litteratur (VON LIEBIG, 1863; DEHÉRAIN, 1893, 1896, 1897, 1898; WOLLNY, 1895, 1897 a, b). ROEMER (1929) mener at ved hjelp av jordarbeiding skal de fysiske forholdene i jorda optimeres for plantevekst. Det er de fysiske forholdene som er betraktet som de primære mens planteernæring og ugrasbekjemping er av sekundær betydning. Dette ble grunnlaget for "den tyske skole" hvor jordstruktur står sentralt i videre jordarbeidingsforskning (TORNAU, 1931; VON NITZSCH, 1937)

Allerede i 1938 bruker RUSSELL & KEEN uttrykket minimal jordarbeiding i en artikkel om jordarbeiding. I et forsøk ved Rothamsted ble pløying, kultivator og fres sammenlignet for tre ulike vekster og for ulike arbeidsdybder (RUSSELL & KEEN, 1941). De forklarte avlingsforskjellene med ulike mengder ugras. Jordfysiske målinger er ikke referert i denne meldingen. I "den engelske skole" var ugraskontrollen den primære hensikten med jordarbeidinga (RUSSELL, 1953). Hvis denne påstanden var rett, skulle effektive kjemiske ugrasmidler kunne erstatte jordarbeidinga.

Både under 1. og 2. verdenskrig finnes spor etter energibesparende jordarbeidingssystemer. HOLLDACK (1918) beskriver jordarbeidingsmetoden til en fransk bonde som brukte kultivator i steden for plog. I USA kom FAULKNER (1943) med sin bok "Plowman's Folly". Hans metoder var nok allerede kjent og i bruk i tørre områder av USA (DULEY & MATTHEW, 1947). PAGE et al. (1946) refererer forsøk med plogfri jordarbeiding som var anlagt i 1937. Denne artikkel avsluttes med setningen: "God jordstruktur lages ikke, men kan lett ødelegges med drivstoff". KAHNT (1976) sier at for jordarbeiding gjelder følgende: "Så mye som nødvendig så lite som mulig". Direkte og indirekte summerer disse setningene opp de fleste av motivene for å redusere intensiteten på jordarbeidinga.

I USA legges det i slutten av 1950-årene stor vekt på å redusere antall kjøringar ved jordarbeiding og såing. R. Cook ved Michigan State University regnes som en pionér for de jordarbeidingssystemene som ble prøvd, "wheel-track planting" og "plow-plant system" (HAYES, 1982). I første tilfelle var det traktorens hjul som ved knusing og pakking av pløgsla utførte jordarbeidinga rett foran såmaskinen. I det andre systemet ble både pløying og såing gjort ved en gangs kjøring. Et annet system som ble prøvd allerede på denne tiden var "strip-till planting". Her ble ikke jorda pløyd, men bearbeidet bare i selve såraden. Redusert jordarbeiding vies stor oppmerksomhet av forskerne i USA på denne tiden (ASAE, 1962, 1963, 1964). Ikke minst kom faktorer som fordamping og jorderosjon til å stå sentralt i videre utvikling av jordarbeidingssystemene (MCCALLA & ARMY, 1961).

MARTI (1984) har i sin dr. scient.-avhandling om plogfri jordarbeiding i Norge studert litteraturen omkring dette emnet. Med utgangspunkt i Amerika, de enkelte land i Vest-Europa, Øst-Europa og tropiske land har han belyst de viktigste motivene for å redusere jordarbeidingen, samt de

største problemene som har oppstått. Han har definert begreper som blir brukt i de forskjellige land.

MARTI (1984) gir en god oversikt og generelt innsyn i forskningsresultatene om plogfri jordarbeiding. Jeg har derfor konsentrert meg om å gjengi publikasjoner og resultater om temperatur, fuktighet og struktur i jord samt avlinger.

Terminologien for de ulike jordarbeidingssystemene er ikke standardisert og er ikke særlig presis (NJØS, 1983). I dette arbeidet velger jeg å bruke direktesåing for det som i litteraturen kalles "zero-tillage", "no-till" og "direct-drilling". Dette betyr at en ikke foretar noen jordarbeiding utenom det som sålabbene utfører. I dag finnes også såmaskiner med freseaggregat foran sålabbene i hele eller deler av arbeidsbredden. Disse blir også betegnet direkte-såmaskiner, men faller egentlig utenom det jeg har definert som direkte-såing. Redusert, plogfri eller grunn jordarbeiding har i min oppgave samme betydning. Jeg velger primært å nytte begrepet reduisert jordarbeiding. I dette legger jeg at det blir foretatt en jordarbeiding med fres, rotorharv, skålharv eller kultivator. Arbeidsdybden kan variere fra ca 5 til 15 cm. Jorda kan i tillegg harves med såbedsharv før såing og såingen kan utføres med vanlig såmaskin. Konvensjonell jordarbeiding vil i vårt klimaområde bety bruk av veltefjølsplog med arbeidsdybde 20-25 cm. Konvensjonell jordarbeiding, eller jordarbeiding med plog, vil i denne oppgaven innbefatte at etter pløying blir såbedet gjort i stand med slodding og harving eller bare harving.

2.2. JORDTEMPERATUR

Mange forsøk har påvist betydning av jordtemperaturen på plantenes vekst og utvikling. Allerede så tidlig som 1900

(RICHARDS et al. 1952) ble det vist at luft- og jordtemperaturen er viktige og ofte kritiske faktorer for planteveksten. Tidlig ble det klart at jorda selv var en viktig faktor for temperaturregimet i jorda. WOLLNY (1896, 1897c) undersøkte f.eks. temperaturforholdene i ulike jordarter. KING (1893) studerte betydningen av både valsing og bearbeidingsdybde på jordtemperaturen. Virkningen på jordtemperaturen av planterester på overflata eller et plantedekke ble undersøkt av BOUYOUCOS (1913). I Norge registrerte MOEN (1932) jordtemperaturen i forsøk med ulike grønnsaker og ulike jordtyper i 1921 og 1928.

Av publikasjoner om dette emnet, som blant annet COOPER, 1973, har studert nøye, kan en kort trekke følgende konklusjoner.

- Jordtemperaturen er en viktig faktor med hensyn til spiring, vekst og næringsopptak (CANNON, 1917; HALSTED & WAKSMAN, 1917; ROBINSON et al., 1959; VAN WIJK et al., 1959; LARSON et al., 1960; NIELSEN et al., 1960; DUNCAN et al., 1972).

- Plantenes fysiologiske prosesser når et maksimum ved en viss temperatur, optimum temperatur. Det gjelder rotvekst, (EARLEY & CARTTER, 1945; WILLIS et al., 1957; BRENGEL & WHITFIELD, 1969) så vel som spiring (SPRAGUE, 1943) og næringsstofftransport (KETCHESON, 1957; NIELSEN et al., 1960). Alle disse prosessene avtar ved for lav eller for høy temperatur.

- Tilleggsgjødsling med fosfor kan motvirke skadelige effekter av for lav temperatur (KORVIN, 1954; PARKS & FISHER, 1958). Innholdet av N, P og K i plantene tiltar med stigende temperatur så lenge det er lavere en viss verdi.

- Jordarbeiding og bruk av jorda påvirker jordtemperaturen (VAN DUIN, 1956; LARSON et al., 1960; BURROWS, 1963; GRIFFITH et al., 1973; WILLIS & AMEMIYA, 1973; ALLMARAS et al., 1977; HAY, 1977; MOCK & ERBACH, 1977; HAY et al., 1978).

Jordtemperaturen påvirkes av nettostrålingen og jordas termiske egenskaper. Ved jordarbeiding endres disse faktorene som også er avhengig av beliggenhet, helling, hellingsretning, jordart og dreneringsgrad.

Overflatas beskaffenhet, spesielt jevnhet, varierer etter hvilket redskap en bruker for jordarbeiding. Jordas refleksjonsevne eller albedo og dermed nettostråling, blir påvirket av overflatas utforming (SELLERS, 1965; COULSON & REYNOLDS, 1971; IDSO et al., 1975; WATTS, 1976). ALLMARAS et al. (1972) fant at høstpløyd jord var 2°C varmere ved såing enn jord som ble pløyd like før såing om våren. Denne effekten av overflatas ujevnhet var større ved lav solhøyde. NJØS (1967 a) målte jordtemperaturen i 5 cm og 10 cm dybde for sloddet og usloddet pløgsle. Jord med jevn overflate (sloddet) hadde lavest middagstemperatur, men høyest morgentemperatur. BOWERS og HANKS (1965) viste at ved å øke aggregatdiameteren, avtok refleksjonen av 1- μ m monokromatiske stråler.

RILEY (pers. meld.) målte jordtemperaturen i 0-20 cm dybde ved hjelp av sakkaroseinversjon (RILEY, 1979) etter høst- og vårpløying. I perioden 21.05. til 01.06. var den vårpløyde jorda varmere enn den høstpløyde. Måling av vanninnholdet i jorda viste at vanninnholdet var større etter høstpløying enn etter vårpløying. Driller ga høyere jordtemperatur nær overflata enn flat seng (SHAW & BUCHELE, 1957; BURROWS, 1963; NJØS, 1965; CHIRKOV, 1979).

Ved tillaging av såbed blir fordelingen og størrelsen på aggregatene påvirket i det øvre jordlaget. Dette gir utslag i

forskjellig luft- og vanninnhold i såbedet. Det luftfylte porevolumet tiltar med økende diameter på aggregatene under samme dreneringssug (NJØS, 1971). Varmeledningsevnen i et såbed av tørre aggregater avtar når størrelsen av aggregatene øker (HADAS, 1977). ALLMARAS et al. (1977) studerte varmeledningsevnen under ulike vanninnhold. Ved samme porestørrelsesfordeling fant de at varmeledningsevnen økte med stigende vanninnhold. NJØS (1972) undersøkte temperaturforholdene i såbed bygd opp med ulike aggregatstørrelser. Høyeste maksimum temperatur i 5 og 10 cm dybde inntraff i såbed bestående av aggregatfraksjonen 2-0.6 mm. Aggregatfraksjonen 20-6 mm hadde lavest maksimum temperatur i de to dybdene.

Få feltforsøk har hatt de nødvendige data for mikroklima, jordtemperatur og jordstruktur for å sammenligne effekten av jordarbeiding på jordtemperaturen. Et slikt forsøk ble utført tre steder i Minnesota, USA, på en siltig lettleire (ALLMARAS et al., 1977). Forsøket omfattet pløying med og uten harving, pakking og halmdekke. Nettoinnstråling var høyere etter pløying og pløying + harving enn for pløyd jord som var pakket. Ved pløying ble ikke energien transportert nedover i profilet i samme grad som ved den andre behandlingen. Kort tid etter behandlingen kunne temperaturforskjellene registreres. De varte i det minste 6 uker, men effekten av jordarbeidingen på jordtemperaturen avtok med tiden pga. utjevning av strukturforskjellen i overflata.

Ved bruk av ulike jordarbeidingssystem, fra konvensjonell jordarbeiding til direktesåing, endres mange fysiske faktorer som har betydning for jordas termiske egenskaper. Dette gjelder både på overflata og nedover i profilet. BAEUMER & BAKERMANS (1973) gir en kort litteraturoversikt om direktesåingens betydning for jordtemperaturen.

GRIFFITH et al. (1973) prøvde åtte forskjellige systemer for jordarbeiding. De konkluderte med at det system som etterlot mest plantemateriale på overflata, resulterte i lavest jordtemperatur. Sammenlignet med høstpløying reduserte direktesåing jordtemperaturen i 10 cm dybde ca 3.8°C i middel over de 8 første ukene etter såing. MOCK & ERBACH (1977) oppnådde tilsvarende resultater.

I Skottland utførte HAY (1976, 1977) og HAY et al. (1978) måling av jordtemperatur etter ulik jordarbeiding. Plante-restene på direktesådde felter resulterte i mindre frost i jorda om vinteren sammenlignet med felter som var pløyd. Jord som var direktesådd, hadde mindre varmesum (gradtimer over 5°C pr dag) enn pløyd jord 20 dager etter såing. Grunnen til dette var mer reflektert stråling og høyere termisk diffusivitet i sjiktet 5-20 cm. Ved endring i jordtetthet, porevolum og vanninnhold blir jordas termiske egenskaper påvirket (FEDDES, 1973). HAY et al. (1978) viste at direktesåing ga lavere maksimumtemperatur og høyere minimumtemperatur enn pløyd jord. Middelttemperaturen var høyere i pløyd enn i direktesådd jord.

Under tropiske forhold kan en senking av jordtemperaturen være en fordel. LAL (1976) rapporterer at direktesåing i Nigeria reduserte maksimum jordtemperatur i 5 cm dybde så mye som 11°C under mais og 9°C under soyabønner i 2 uker etter såing. Selv i Norge kan temperaturen på jordoverflata komme opp i 40-50°C selv om lufttemperaturen er under 30°C (NJØS, 1970). Så høye temperaturer kan virke hemmende på små kornplanter.

Når halmen ble fjernet, ga direktesåing høyere middeltemperatur om våren i 5 cm dybde enn konvensjonell jordarbeiding (KETCHESON et al., 1982). Dette forklares med mindre frost om vinteren. Med halm på overflata ble temperaturen i jorda

senket. Temperaturamplitudene var samtidig større etter pløying enn etter direktesåing, det siste ble også vist av DEWEY & BAKER (1978). De fant lavere temperatur om sommeren både like over og like under jordoverflata etter direktesåing enn etter konvensjonell jordarbeiding.

CARTER & RENNIE (1985) fant at maksimum jordtemperatur i 2.5 cm dybde lå 1-5°C høyere etter pløying enn etter direktesåing i de 30 første dagene etter såing. Dette hadde ingen betydning for spiring eller avling. GAUER et al. (1982) og WALL & STOBBE (1984) rapporterer samme virkningen av jordarbeiding på jordtemperaturen. Ved fjerning og brenning av halmen, fant de høyere jordtemperatur i 5 cm dybde etter direktesåing enn etter pløying. Når plantebestanden dekker overflata avtar disse differansene mellom konvensjonell jordarbeiding og direktesåing. (GAUER et al., 1982; WALL & STOBBE, 1984; CARTER & RENNIE, 1985).

POTTER et al. (1985) bestemte termisk diffusivitet ved hjelp av temperaturmålinger i jord, samt målte jordas varmeledningsevne. Termisk diffusivitet og varmeledningsevne var større for direktesåing sammenlignet med konvensjonell og redusert jordarbeiding. De fant derimot ingen forskjell i volumetrisk varmekapasitet til jorda. De konkluderte med at planterester på overflata betyr mer for jordtemperaturen enn jordas termiske egenskaper.

JOHNSON & LOWERY (1985) rapporterer om en 20-25% økning i termisk diffusivitet for direktesåing sammenlignet med konvensjonell og redusert jordarbeiding.

Effekten av pløying eller fresing i forhold til ubehandlet jord er studert av VAN DUIN (1956). På grunnlag av teoretiske beregninger og feltmålinger konkluderte han med at løsning av topplaget reduserte varmetransporten. Topplaget ble varmere i

perioder med stigende temperatur når jorda var pløyd. I perioder med synkende temperatur var det motsatt resultat.

Under ploglaget er jorda varmere om vinteren og kaldere om sommeren etter pløying enn ubehandlet. På årsbasis kan dette utgjøre ca 1.0-1.5°C (VAN DUIN, 1956). Forandringer i temperaturen på døgnbasis som resultat av bearbeiding av topplaget, er større. Temperaturamplitudene i såbedet er større når jorda er bearbeidet enn når den er ubehandlet. Forskjellene avtar raskt nedover i jordprofilet (VAN DUIN, 1956). Disse resultatene ble understøttet av HAY et al. (1978).

I en undersøkelse på morenejord våren 1981 fant RILEY (pers. meld.) at i perioden 29.04. til 19.05. var jordtemperaturen i dybden 0-20 cm 0.9°C høyere for pløyd enn for upløyd jord.

Halmdekke eller "mulching" er stadig nevnt når en vurderer tiltak for å regulere temperaturforholdene i jorda. Et halmdekke virker isolerende, refleksjonen øker og dessuten reduseres fordamping slik at jorda holder seg fuktigere. I forbindelse med ulike jordarbeidingssystemer har flere forsøk vist at det er halmrestene oppe på overflata som betyr mest for temperaturregimet i jorda (GRIFFITH et al., 1973; POTTER et al., 1985).

UNGER (1978) undersøkte betydningen av ulike mengder hvete-halm på jordtemperaturen. Med halmmengder fra 0-12 tonn/ha fant han at økende halmmengder reduserte både middeltemperaturen og temperatursvingningene gjennom hele året. Virkningen var størst vår/sommer og minst om vinteren. En halmmengde på 8 tonn pr ha ga i 10 cm jorddybde en senking av middeltemperaturen på 2.9°C om sommeren, 1.4°C om høsten, 0.8°C om vinteren og 2.3°C om våren. Maksimumtemperaturen var mer påvirket enn minimumtemperaturen. WILLIS et al. (1957)

studerte jordtemperaturer i 10 cm dybde med et halmdekke 7.5 tonn/ha og i bar jord. Døgnmiddeltemperaturen ble senket 2°C i mai og juni. Seinere i vekstsesongen var differansen mindre.

I forsøk med ulike mengder kuttete maisstengler fant BURROWS & LARSON (1962) at største mengde, 18.1 tonn/ha reduserte jordtemperatur 4.4°C, 5.0°C og 3.9°C i dybden 0.6, 5 og 10 cm sammenlignet med bar jord. I dette forsøket fant de at plantehøyde og tørrstoffproduksjon avtok med stigende mengde planterester.

VON HOYNINGEN-HUENE (1971) bestemte verdien for refleksjon fra friskt stråmateriale til det dobbelte av verdien fra bar jord. HANKS et al. (1961) fant 15% større refleksjon fra frisk halm enn fra bar jord. Etter 3 måneder var det ingen forskjell.

NJØS (1967 b) utførte et forsøk med dekking av jorda med 3000 kg halmhakk pr ha. Dette hadde liten virkning på jordtemperaturen i 10 cm dybde kl 12.00, men det senket temperaturen kl 07.00.

Som tidligere nevnt har temperaturen i såbedet betydning for vekst og utvikling i spiringsfasen. Halmrester etter direkte-såing ga dårligere vekst og seinere utvikling av plantene sammenlignet med såing i bar jord (VAN WIJK et al., 1959; DUNCAN et al., 1972). MOODY et al. (1963) rapporterte lignende veksthemming pga. lav jordtemperatur tidlig i vekstsesongen.

Pakking påvirker jordstrukturen og dermed de termiske egenskapene i jorda. Det er luftporene som presses sammen først under belastning av jorda. Luftinnholdet betyr mye for både jordas varmekapasitet og varmeledningsevne. WILLIS &

RANEY (1971) har klarlagt forholdet mellom pakking og jordtemperatur. Både varmeledningsevne, varmekapasitet og netto innstråling vil forandre seg ved pakking fordi både porestørrelse, aggregatstørrelse, jordtetthet og overflatas jevnhet blir endret.

VOORHEES (1976) undersøkte jordtemperaturen i 5 cm dybde i og utenom hjulspor. Temperaturforskjellen kunne være så stor som 3°C. I hjulsporene var jorda kaldere pga. høyere vanninnhold som forårsaket høyere varmekapasitet. Pakket jord vil lede varme bedre nedover i profilet og på den måten akkumulere fra 4% til 10% mer varme enn jord som ikke er pakket (VOORHEES, 1976). Denne varmen transporteres tilbake til overflata i kalde perioder. Resultatet er bedre spiring i enn utenom hjulspor i vårer med lave temperaturer.

Jord som pakkes til en tetthet på 1.2 kg dm⁻³ avgir opptil 0.84 MJ m⁻² mer varme om natta enn jord med tetthet 0.9 kg dm⁻³. (GRADWELL, 1963). Denne varmetilførselen til såbedet eller overflata kan være viktig i områder som er utsatt for nattefrost (GRADWELL, 1968).

Tromling økte midlere maksimum temperatur i 3 cm dybde 0.6°C i april og 2.4°C i juli (CHIRKOV, 1979). NJØS (1965) viste at temperaturen steg 0.5-1.0°C i 10 cm dybde når jorda var tromlet.

2.3. JORDSTRUKTUR

Jordstrukturen eller jordas oppbygging er viktige faktorer i plantedyrkinga. De påvirkes i større eller mindre grad ved jordarbeiding. Etter bruk av ulike systemer for jordarbeiding kan jordstrukturen utvikle seg forskjellig.

Tilførsel av oksygen til og bortføring av karbondioksyd fra rotsonen i jorda er viktig for planteveksten (HILLEL, 1980).

Han viser samtidig til at nødvendig luftvolum ved feltkapasitet iflg. litteraturen varierer fra 5-20% med middel på 10%. Forbruket av oksygen i jorda er avhengig av temperaturen.

Flere forsøk med ulike jordarbeidingssystemer har vist at blir pløyinga sløyfet, reduseres volumet av store porer, luftvolumet, i jorda (PIDGEON & SOANE, 1977; ELLIS et al., 1979; VAN OUWERKERK & BOONE, 1970; BALL & O'SULLIVAN, 1982; RILEY, 1983 b; MARTI, 1984; RILEY et al., 1985). I disse forsøkene har jordtettheten økt ved direktesåing eller annen grunn jordarbeiding. RILEY (1983 b) fant særlig stor nedgang i luftkapasitet ved direktesåing på siltjord i Norge. Under tørre klimaforhold gir ikke direktesåing høyere jordtetthet enn pløying (SHEAR & MOSCHLER, 1969; BLEVINS et al., 1983). Den tiltetning en får i jorda under fuktige forhold ved direktesåing, har gjort det nødvendig med nye redskaper for jordløsning. "Paraplow" (PIDGEON, 1982; PIDGEON et al., 1985) er et redskap som løsner jorda uten å snu, vende eller blande den.

Til tross for mindre luftvolum og større jordtetthet, øker ofte innholdet av nyttbart vann når en utelater pløyinga. En får forskyving av porestørrelsesfordelingen fra store til fine porer (VAN OUWERKERK & BOONE, 1970). Både CANNELL & ELLIS (1977) og DOUGLAS et al. (1980) fant lavere porevolum, men høyere feltkapasitet for direktesåing enn for pløying på leirjord. Økt vannlagringsevne og dermed mer tilgjengelig vann blir stadfestet av HILL & BLEVINS (1973), GOSS et al. (1978), HAYWARD et al. (1980). I Skottland fant ikke O'SULLIVAN & BALL (1982 a) mere plantetilgjengelig vann selv om det var signifikant reduksjon i makroporer.

RASMUSSEN (1981) og RASMUSSEN & OLSEN (1983) rapporterer mindre porevolum, mindre luftførende og drenerbare porer ved

reduisert jordarbeiding sammenlignet med pløying til 20 cm dybde. Men det var liten forskjell i den porestørrelsen (30-0.2 μm) som inneholder plantetilgjengelig vann. RILEY (1983 b) fant en oppgang i kapasiteten for tilgjengelig vann på 2-5% avhengig av jordart for direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. Andre forsøk (RILEY et al., 1985) viser 2% større nyttbart vannvolum for upløyd enn for pløyd mark. Den største delen av økning var i den tyngre tilgjengelige fraksjonen (pF 3-4.2).

MARTI (1984) fant at jordfastheten var stor for upløyd jord i sjiktet 0-20 cm. Trykkfastheten var 50% større for upløyd enn for pløyd jord. Om våren var skjærfastheten i upløyd jord 2-3 ganger større sammenlignet med høstpløyd jord.

ELLIS et al. (1979, 1982) målte størst trykkfasthet i jordas øvre 25 cm ved direktesåing, nest størst ved redusert jordarbeiding og minst ved pløying. Arbeidsdybden til jordarbeidingsredskapet gir tydelig utslag på penetrometermålinger i forsøk med ulike jordarbeidingsssystem. PIDGEON & SOANE (1977) og O'SULLIVAN & BALL (1982 a) har fått lignende resultater ved måling av trykkfasthet med penetrometer.

2.4. TILGANG OG FORBRUK AV VANN

O'SULLIVAN (1985) har målt uttørking i ulike dybder etter pløying og etter direktesåing ved bruk av nøytronmeter. Han målte sterkere og raskere uttørking i sjiktet 0-20 cm, men mindre uttørking i 60 cm dybde i slutten av vekstsesongen etter pløying sammenlignet med direktesåing. Under denne dybden var vanninnholdet nærmest konstant. I samme forsøket ble vannpotensialet i jorda målt med tensiometre. I 15 cm dybde avtok potensialet raskere for pløying enn for direkte-såing. Etter 34.1 mm nebør økte potensialet hurtigst på direktesådde ruter. Rotmålinger viste at det var mer røtter

nær overflata etter konvensjonell jordarbeiding enn etter direktesåing.

EHLERS (1976) fant høyere vanninnhold i 0-10 cm dybde for direktesåing sammenlignet med pløying. Dette gjaldt både for høsthvete, sukkerbete og brakk. EHLERS et al. (1980) påviste størst rottetthet i 10-20 cm dybde etter konvensjonell jordarbeiding sammenlignet med direktesåing. Vannopptaket ble derfor større fra 10-20 cm for denne behandling, mens direktesåing hadde størst vannopptak i 20-60 cm dybde. Spesielt lite var vannopptaket fra plogsålen (20-30 cm) der det var pløyd. KÖPKE (1979) observerte at andelen abnorme røtter var høyere i plogsålen enn i andre sjikt.

WEATHERLY & DANE (1979) rapporterer at totalt vannopptak var henholdsvis 226 mm, 254 mm, 259 mm og 270 mm for pløying uten jordløsning, pløying med jordløsning og direktesåing med og uten jordløsning.

Ved tidspunktet for såing fant RILEY (1983 b) høyere vanninnhold i 0-20 cm dybde ved direktesåing enn for redusert og konvensjonell jordarbeiding. O'SULLIVAN & BALL (1982 b) registrerte høyere vanninnhold nær jordoverflata ved direktesåing enn ved pløying. Dette gjaldt både for vår- og høstkorn enten halmen var brent eller ikke. KUIPERS (1984) peker på at høyere vanninnhold ved jordarbeiding eller annen belastning gjør jorda mer utsatt for pakking.

Av den refererte litteraturen ser vi at jordtettheten øker, mens totalt porevolum og volum av makroporer avtar når pløyinga utelates. Likevel rapporterer mange forskere om økt infiltrasjonsevne for direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding (MANNERING et al., 1966; EHLERS, 1976; 1979; GOSS et al., 1978). Dette begrunnes med bedre kontinuitet i poresystemet. Spesielt betyr ganger og kanaler

etter meitemark mye for infiltrasjonen. Aktiviteten av meitemark er normalt større for direktesådd jord enn tilfelle er for pløyd jord (SCHWERDTLE, 1969; EHLERS, 1975; BARNES & ELLIS, 1979). Røtter som brytes ned, kan gi kontinuerlige kanaler som fungerer som transportsystem for vann (BARLEY, 1954). Økt innhold av organisk materiale i overflatesjiktet bidrar også til å øke infiltrasjonsevnen til jorda, dessuten reduseres overflateavrenningen (HARROLD et al., 1967; SHANHOLTZ & LILLARD, 1969; LAL, 1976).

Under tørre klimaforhold gir direktesåing økning i avlingene fordi plantene har tilgang på mer vann sammenlignet med jord som pløyes eller bearbeides på annen måte (HILL & BLEVINS, 1973). Dette skyldes vesentlig redusert fordamping tidlig i vekstsesong og større volum nyttbart vann i jorda. Dette forplantet seg utover i hele vekstperioden slik at vanninnholdet alltid var høyere etter direktesåing enn etter konvensjonell jordarbeiding. Flere forskere rapporterer lignende resultater under tørre forhold (MOODY et al., 1963; TRIPLETT et al., 1968; JONES et al., 1969; BLEVINS et al., 1971; LAL, 1974; AGBOOLA, 1981).

DALE & SHAW (1965) undersøkte antall dager plantene ikke hadde tilgang på nok vann ("vannstress") ved ulik jordarbeiding. De fant at antall dager med "vannstress" var større for konvensjonell jordarbeiding enn for direktesåing. I tillegg viste de at avlingen avtok når antall dager med "vannstress" økte.

GOSS et al. (1978) fant at i tørre år kunne høstvetete ta opp 22 mm mer vann ved direktesåing enn ved pløying. Dette førte til bedre vekst og større avling. I fuktige år var det ingen slike utslag. O'SULLIVAN & BALL (1982 a) finner heller ikke positive utslag for økt vannlager ved direktesåing i år med lite vannunderskudd.

2.5. PLANTEVEKST OG AVLING

I Norge har NJØS (1977), RILEY (1981, 82, 83 a, 84, 85), MARTI (1984) og EKEBERG et al. (1985) publisert avlingsresultater for ulike jordarbeidingssystemer. Konklusjonen fra disse forsøkene er at avlingsnivået kan opprettholdes med mindre intensiv jordarbeiding hvis en behersker kveka (Elytrigia repens L. Nevski). MARTI (1984) og EKEBERG et al. (1985) har beregnet en avlingsnedgang på 3-4 kg korn pr daa for hver prosent kvekemengden øker. RILEY (1983 a) rapporterer at direktesåing i halmhakk ofte gir nedgang i avlingene. Spesielt siltjord er utsatt i så måte, men i de år det dannes skorpe, har spiringen vært bedre etter direktesåing i halmhakk enn konvensjonell jordarbeiding. NJØS (1980) melder om lignende resultater.

I Sverige har grunn jordarbeiding (10-12 cm) gitt like store avlinger som pløying (20-25 cm) til høsthvete (Triticum aestivum L.) hvis det ikke var for mye planterester tilbake på overflata (RYDBERG, 1980 a, b, 1982). Han melder også om avlingsreduksjon på ca 4% når bygg (Hordeum vulgare L.) og hvete følger etter vekster som overfører kornsykdommer.

RASMUSSEN (1982) har i Danmark funnet at ved ensidig høst-hvetedyrking ga redusert jordarbeiding og direktesåing henholdsvis 6% og 10% lavere avling i forhold til konvensjonell jordarbeiding. Bygg ga fra 2-10% mindre avling ved plogfri jordarbeiding (rotorharv til 5-8 cm dybde) sammenlignet med pløying (RASMUSSEN & OLSEN, 1983).

Fra Finland foreligger ikke så mye forsøksresultater for ulike jordarbeidingssystemer. ELONEN (pers. meld.) redegjorde for avlinger av vårkorn med ulik primærjordearbeiding. Høstpløying ga størst avling. Både vårpløying og direktesåing

kom relativt dårlig ut. Fresing eller harving om høsten derimot hadde avlinger opp mot pløying. LARPES (1978) og KARA & RÄISÄNEN (1979) rapporterer om forsøk med ulik jordarbeiding i Finland.

England var først ute med forsøk med direktesåing i Europa. Etter at sprøytemidlet "paraquat" fra Imperial Chemical Industries Limited kom på markedet, startet en med forsøk i 1961 (HOOD et al., 1963, 1964). I England har avlingene av høsthvete vært omtrent like store ved direktesåing, redusert jordarbeiding og pløying med unntak av forsøk på silt- og sandjord med lite innhold av organisk materiale (CANNELL & ELLIS, 1977; ELLIS et al., 1979, 1982, 1983; CANNELL et al., 1980; PATTERSON et al., 1980; POLLARD et al., 1981). DOUGLAS et al. (1985) la fram resultater som tyder på at humusfattig siltjord etter noen år med direktesåing igjen gir like store avlinger som ved pløying. På lettleire som er godt drenert, gir direktesåing og pløying like avlinger av vårkorn (ELLIOTT et al., 1977; ELLIS et al., 1979).

I Skottland har vinterbygg på sandig lettleire gitt samme avling ved ulik jordarbeiding (BALL et al., 1985). På jord som ikke er godt drenert synes det likevel vanskelig å få like store avlinger ved direktesåing som ved konvensjonell jordarbeiding (HOLMES, 1977; PIDGEON & SOANE, 1977; O'SULLIVAN & BALL, 1982 a).

Den samme tendensen når det gjelder konvensjonell-, redusert jordarbeiding og direktesåing, rapporteres i forsøk fra andre land i Vest-Europa. Avlingsnivået er stort sett det samme for høstkorn, litt lavere for vårkorn ved direktesåing sammenlignet med pløying (BAKERMANS & DE WIT, 1970; BODET et al., 1976; FRANKINET et al., 1979; VEZ, 1979; EHLERS et al., 1980;

WESTMAAS RESEARCH GROUP ON NEW TILLAGE SYSTEM, 1980, 1984; MAILLARD & VEZ, 1982; TEN HOLTE, 1982; FRANKINET & RIXHON, 1983;).

CANNELL (1985) gir et overblikk over forsøk med ulike jordarbeidingsystemer utført i Nord- og Vest-Europa. Konklusjonen når det gjelder avling, må være at hvis systemet beherskes, kan redusert jordarbeiding og direktesåing gi samme avlinger som pløying. Redusert jordarbeiding og direktesåing krever gode kunnskaper om jordtype og påpasselighet ved utføringen av arbeidet på jorda.

LAL (1985) har summert opp tilpassing av ulike jordarbeidingsystemer under tropiske forhold. I mange tilfeller er det mye å hente avlingsmessig med å beholde mest mulig av planterestene på overflata (direktesåing).

ALLMARAS & DOWDY (1985) gir en oversikt over "vernende" jordarbeidingsystemer, tilpassing og utbredelse i U.S.A. De hevder at det ennå er visse ulemper og lavere avlinger med "vernende" jordarbeiding sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. Likevel gir et enkelt system som direktesåing muligheter for å redusere produksjonskostnadene vesentlig. Dette er av stor betydning for amerikansk jordbruk i dag.

3. MATERIALE OG METODER

3.1. BELIGGENHET AV FORSØKENE

Av de tre forsøkene som blir behandlet i denne oppgaven, ligger to på Ås (NGO-kart nr 1914 III, Ski, UTM-koordinator: 32 VNM 992155, høyde over havet: 70 m) og et på Øsaker i Tune (NGO-kart nr 1913 IV, Vannsjø, UTM-koordinator: 32 VPL 502842, høyde over havet: 40 m). Feltene var plassert på forsøksgårdene til Institutt for jordkultur, Norges Landbrukshøgskole.

3.2. JORD

Jorda på disse feltene har vært dyrket meget lenge, og er i de siste 25 år hovedsaklig blitt brukt til kornproduksjon.

Felt 1 i Ås

Denne forsøksparsellen ble grøftet i 1969 til ca 80 cm dybde. Forsøksplanen er lagt slik av grensebeltene følger grøftene. Jorda var ufullstendig drenert i naturlig tilstand.

Opphavsmaterialet til jorda er postglacial marin leire i dypere lag og i øvre lag en blanding av transportert og sedimentert leire fra områdene rundt. Selve forsøksfeltet hvor registreringene ble foretatt er tilnærmet flatt, mens det tilgrensede området stiger svakt både mot nord og øst. En kort profilbeskrivelse følger.

Beskrivelsen av profilet er utført etter et system angitt av FAO (1974), og NJØS & SVEISTRUP (1977).

Dybde cm	Beskrivelse
sjikt	
0-24	Svært mørk gråbrun, (10YR 3/2), <u>mellomleire</u> ;
Ap	moderat middels og fin avrundet blokkform til gryn; mange fine porer, mange fine og middels røtter; skarp, bølgende grense.
24-35	Mørk gråbrun, (2.5Y 4/2), <u>siltig lettleire</u> med
Bg1	noen gulrøde (5YR 4/8) gleiflekker; svak og finskarpkantet blokk som deler seg i horisontale plater; mange svært fine og fine porer; mange svært fine og fine røtter; skarp, uregelmessig grense.
35-50	Olivensbrun, (2.5Y 3/1), <u>mellomleire</u> med noen
Bg2	gulrøde (5YR 4/6) gleiflekker; moderat, avrundet blokkstruktur; noen fine til middels porer; noen svært fine og fine røtter; skarp og brutt grense.
50-90	Olivengul, (2.5Y 5/1), <u>siltig mellomsand</u> med mange
2BC	mørke brune (7.5YR 4/4) gleiflekker; svak struktur; noen svært fine porer; noen svært fine røtter; skarp, plan grense.

Fysiske og kjemiske analyser er gitt i tabell 1.

Tabell 1. Fysiske og kjemiske analyser av jorda på felt 1.

a Kornstørrelsesfordeling i mm

Dybde cm	Prosent					
	leir	silt	sand			
	<0.002	0.002-0.06	0.06-0.2	0.2-0.6	0.6-2.0	0.06-2.0
0- 24	27	45	13	10	5	28
24- 35	21	71	6	2	0	8
35- 50	26	29	27	15	3	45
50-100	8	18	22	32	19	74

b Vann, luft og fast materiale

Dybde cm	Volumprosent						kg dm ⁻³	
	Luft	Vann ved ... bar				Pore	Tetthet	
	0.1	0.02	0.1	1.0	15	vol.	jord	mat.
0- 24	9	44	40	38	16	49	1.29	2.53
24- 35	7	36	33	31	15	40	1.59	2.65
35- 50	14	32	29	27	13	43	1.50	2.66
50-100	10	31	28	25	10	38	1.67	2.68

c pH, glødetap (Gt), C, N, P-AL (P), K-HNO₃ (K-), ombytt.kat.

Dybde cm	pH	Prosent					mg/100g		Ombytt. kationer (me/100g)					
		Gt	C	N	P	K-	H	K	Na	Mg	Ca	Sum		
0- 24	6.0	8.4	3.2	0.31	12	72	8.3	0.27	0.05	0.63	13.0	22.3		
24- 35	5.9	10	4.0	0.39	6.6	57	9.3	0.23	0.08	0.75	17.0	27.4		
35- 50	6.4	3.9	1.3	0.15	1.8	58	4.8	0.16	0.07	0.86	14.5	20.4		
50-100	6.5	2.8	0.7	0.09	4.5	80	3.8	0.18	0.07	0.86	10.8	15.7		

Felt 2 i Ås

Opphavsmateriale og avsetningsmønster for jorda på dette forsøksfeltet er i store trekk som for felt 1. Feltet ligger litt lavere i terrenget og har fra naturens side vært meget dårlig drenert. I 1970 ble det foretatt grøfting av området. Jorda på forsøksområdet er tidligere beskrevet av NJØS (1978).

En kort profilbeskrivelse utført i henhold til FAO (1974) og NJØS & SVEISTRUP (1977) følger.

Dybde cm Beskrivelse

sjikt

- | | |
|---------------|--|
| 0- 20
Ap | Svært mørk gråbrun (10YR 3/2) <u>siltig mellomleire</u> ; moderat, middels og fin avrundet blokkform eller gryn; mange fine og svært fine porer; mange fine røtter; skarp grense. |
| 20- 51
Bg1 | Olivengrå (5Y 4/2) <u>siltig lettleire</u> med klare gulrøde (5YR 5/6) gleiflekker; moderat, middels prismatisk struktur som brytes opp i horisontale plater. Noen markganger; få fine porer; noen fine røtter; klar grense. |
| 51- 70
Bg2 | Olivengrå (5Y 5/2) <u>lettleire</u> med mange fine, utpregete sterkt brune (7.5YR 5/6) gleiflekker; moderat, middel prismestruktur som brytes opp i kantet blokk; svak klebrig; få markganger og få fine porer; få svært fine røtter; klar grense. |
| 70-100
2Cg | Grå (5Y 5/1) <u>siltig mellomleire</u> med noen fine, matte, sterkt brune (7.5YR 5/6) gleiflekker; sterk og grov prismestruktur; svært plastisk; få sprekker og få svært fine porer; svært få, svært fine røtter |

Fysiske og kjemiske analyser er gitt i tabell 2.

Tabell 2. Fysiske og kjemiske analyser av jorda på felt 2.

a Kornstørrelsesfordeling i mm

Dybde cm	Prosent					
	Leir	Silt	Sand			
	<0.002	0.002-0.06	0.06-0.2	0.2-0.6	0.6-2.0	0.06-2.0
0- 20	34	51	8	4	3	15
20- 51	23	62	10	3	2	15
51- 70	23	39	21	14	3	38
70-100	42	56	2	-	-	2

b Luft, vann og fast materiale

Dybde cm	Volumprosent						kg dm ⁻³	
	Luft	Vann ved ... bar				Pore	Tetthet	
	0.1	0.02	0.1	1.0	15	vol.	jord	mat.
0- 20	8	45	42	39	15	50	1.23	2.47
20- 51	5	41	38	35	15	43	1.45	2.54
51- 70	7	34	32	28	13	39	1.54	2.45
70-100	-	46	43	39	22	43	1.51	2.66

c pH, glødetap (Gt), C, N, P-AL (P), K-HNO₃ (K-), ombytt.kat.

Dybde cm	pH	Prosent			mg/100g		Ombytt. kationer (me/100g)					
		Gt	C	N	P	K-	H	K	Na	Mg	Ca	Sum
		0- 20	6.0	8.0	3.3	0.28	9.4	60	9.3	0.24	0.05	0.56
20- 51	5.9	3.2	0.8	0.08	2.1	47	5.3	0.10	0.07	0.49	5.4	11.4
51- 70	5.9	2.4	0.5	0.06	6.3	44	4.3	0.08	0.07	0.72	4.1	9.3
70-100	6.2	4.1	1.1	0.12	6.4	100	5.5	0.18	0.15	1.73	6.9	14.5

Felt 3 på Øsaker i Tune

Opphavsmaterialet til denne jorda er marin leire. I området kan en finne fjell i dagen. Dybden på avsetningene kan derfor variere noe. Forsøksfeltet heller svakt (0-2%) mot vest. Jorda er i utgangspunktet dårlig drenert. Det ble foretatt grøfting av området i 1962. En kort profilbeskrivelse følger. Beskrivelsen er utført i henhold til FAO (1974) og NJØS & SVEISTRUP (1977).

Dybde cm Beskrivelse

sjikt

0-23 Brun, (10YR 4/3), mellomleire; moderat, avrundet
Ap blokk som deles opp i plater; svakt klebrig;
plastisk; mange fine til svært fine porer; mange
fine røtter.

23-35 Mørk brun, (10YR 3/3), stiv leire med noen gulbrune
Bg1 (5YR 4/6) gleiflekke; moderat, skarpkantet blokk
som sprekker opp i horisontale plater; klebrig;
svært plastisk; noen fine porer; få, fine røtter.

35-60 Mørk brun, (2.5Y 4/2), siltig mellomleire med mange
Bg2 sterkt brune (7.5YR 5/6) gleiflekke; moderat,
middels prismestruktur; klebrig; plastisk; få, svært
fine porer; få, fine røtter.

60-85 Svært mørk grå, (5Y 3/1), siltig mellomleire med BC
mange gulrøde (5YR 5/8) gleiflekke; svak, grov
prismestruktur; klebrig; plastisk; få, svært fine
porer; få, svært fine røtter.

85- Fjell

D

Fysiske og kjemiske analyser for felt 3 er gitt i tabell 3.

Tabell 3. Fysiske og kjemiske analyser av jorda på felt 3.

a kornstørrelsesfordeling i mm

Dybde cm	Prosent					
	leir	silt	sand			
	<0.002	0.002-0.06	0.06-0.2	0.2-0.6	0.6-2.0	0.06-2.0
0- 23	36	40	16	6	2	24
23- 35	49	36	11	3	1	15
35- 60	27	54	17	1	1	19
60- 85	33	53	13	1	0	14

b Luft, vann og fast materiale

Dybde cm	Volumprosent					kg dm ⁻³	
	Luft	Vann ved ... bar			Pore	Tetthet	
	0.1	0.02	0.1	1.0	15	vol.	jord mat.
0- 23	6	43	41	38	18	47	1.41 2.60
23- 35	2	41	40	37	23	42	1.57 2.71
35- 60	2	37	36	32	22	38	1.69 2.69
60- 85	2	37	36	33	24	38	1.68 2.68

c pH, glødetap (Gt), C, N, P-AL (P), K-HNO₃ (K-), ombytt.kat.

Dybde cm	pH	Prosent			mg/100g		Ombytt. kationer (me/100g)					
		Gt	C	N	P	K-	H	K	Na	Mg	Ca	Sum
0-23	5.8	6.0	2.2	0.24	5.4	160	9.3	0.45	0.08	1.47	6.5	17.8
23-35	6.4	3.9	0.7	0.11	3.2	205	5.0	0.48	0.14	4.40	7.5	17.5
35-60	6.9	2.2	0.3	0.06	12	200	3.0	0.31	0.19	5.00	4.2	12.7
60-85	7.7	2.0	0.2	0.04	13	200	2.5	0.33	0.23	5.60	4.0	12.7

3.3. KLIMA

Klimaet på Sør-Østlandet er karakterisert ved kjølig vår, tørr forsommer, fuktig ettersommer (fra ca. 15. juli), og våt høst (fra ca. 15. september). Jorda er normalt frosset fra begynnelsen av desember til slutten av mars. Telen går sjelden dypere enn ca 0.5 m. Fra begynnelsen av januar til midten av mars er jorda normalt dekket med snø. Tabell 4 og 5 viser månedlige verdier for nedbør og lufttemperatur for de meteorologiske stasjonene på Ås og Rygge (DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT, 1983 og 84; BRUUN, 1967).

Tabell 4. Månedlige verdier for nedbør og lufttemperatur for årene 1983-84 og normalverdier for Ås

Nedbør (mm)													sum
År	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
83	42	26	43	55	92	32	41	27	159	120	23	63	723
84	89	19	24	26	69	90	86	78	95	171	62	99	908
Nm	55	34	27	48	49	70	79	96	86	86	83	72	785

Middeltemperatur (°C)													middel
År	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
83	0.8-5.1	1.1	5.1	10.1	13.9	13.8	16.3	11.3	7.1	1.1-1.1	6.2		
84	-5.2-3.3-1.8	5.2	12.1	14.5	16.0	16.0	9.7	7.9	2.6	0.4	6.2		
Nm	-5.2-4.6-1.2	4.3	10.2	14.4	16.8	15.6	10.9	5.7	0.9-2.3	5.5			

Nm= Normalverdier: Gjennomsnitt for perioden 1931-1960

Juli 1983 er data hentet fra "Været på Ås", Fysisk institutt, NLH.

Tabell 5. Månedlige verdier for nedbør og lufttemperatur for årene 1983-84 for Rygge.

Nedbør (mm)													sum
År	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
83	50	23	52	57	97	27	59	20	128	105	28	60	706
84	89	29	21	33	67	119	51	56	78	163	66	94	866
Nm	57	36	33	40	43	57	74	94	96	87	84	72	773

Middeltemperatur (°C)													middel
År	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	År
83	1.9-4.8	1.4	5.4	10.2	14.0	17.7	16.1	11.7	7.7	1.7-0.5	6.9		
84	-4.4-2.9	-1.5	5.0	12.2	14.4	15.4	16.3	9.7	8.6	3.3	0.9	6.4	
Nm	-4.7-4.2	-1.0	4.4	10.2	14.2	17.0	15.8	11.2	6.4	1.6-1.5	5.8		

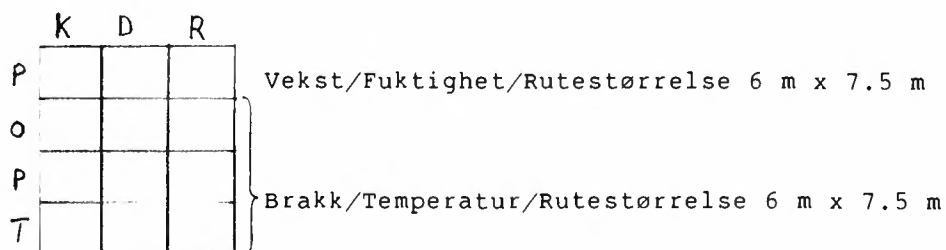
Nm= Normalverdier: Gjennomsnitt for perioden 1931-1960

3.4. FORSØKSPLANER OG BEHANDLINGER

Felt 1

Forsøksopplegget omfattet måling av temperatur og fuktighet i jord etter ulik jordarbeiding. I tillegg ble de samme behandlingene gjentatt på et område like ved siden av feltet for jordtemperatur- og jordfuktighetsregistrering. Dette feltet ga avlingskontroll og dessuten mulighet for ekstra prøvetaking til fysiske jordanalyser.

Figur 1 viser forsøksplan, behandlinger og målinger for felt 1.



Jordarbeiding: K: Konvensjonell jordarbeiding (pløying, 20 cm slodding, harving)

D: Direktesåing

R: Redusert jordarbeiding (fresing, 5 cm)

Etterarbeiding: P: Pakking, hjul i hjul med traktor (2500 kg)

O: Ingen etterarbeiding

T: Tromling (Cambridge-trommel, 700 kg, 2.3 m)

Feltstørrelse: 51.5 m x 22.5 m

Figur 1. Forsøksopplegg for felt 1, NLH, Ås.

Feltet ble anlagt høsten 1981. Eneste behandling som da ble foretatt, var pløying til 20 cm dybde av K-leddet. Øvrig jordarbeiding, slodding og harving av K-leddet ble gjort om våren. Harvinga ble foretatt 2 ganger til ca 5 cm dybde om våren. D-leddet som skulle tilsvare direktesåing, ble ikke jordarbeidet i det hele tatt. R-leddet ble frest med rotor-

harv til ca 5 cm dybde om våren.

Behandlingen etter såing ble foretatt på tvers av rute-retningen for hovedjordarbeidingen. O-leddet fikk ingen etterbehandling. Tromling av T-leddet ble foretatt med cambridgetrommel. På P-leddet ble det pakket med traktor som ble kjørt hjul i hjul. Traktoren var belastet, slik at totalvekta var 2500 kg. Lufttrykket i traktorens for- og bakdekk var henholdsvis 250 kPa og 90 kPa.

Den delen av feltet hvor jordtemperaturen ble målt, ble holdt uten vegetasjon. På det direktesådde leddet var det nødvendig å sprøyte med glyfosat 2 ganger i vekstsesongen. For de andre leddene var en gangs sprøyting tilstrekkelig.

De rutene hvor jordfuktighet ble registrert, ble sådd om våren med Gunilla bygg (Hordeum vulgare L.) i 1983 og Mustang havre (Avena sativa L.) i 1984. Jordfuktigheten ble bare registrert der etterbehandlingen var tromling.

I 1984 ble rutene uten vekst (temperaturmålingene) delt i to. Den ene halvdel ble dekket med kuttet halm tilsvarende 400 kg tørr halm (15% vann) pr dekar.

Felt 2 og 3

For å belyse andre faktorer enn jordtemperatur og jordfuktighet i forbindelse med ulike jordarbeidingssystem, ble det anlagt to enkle forsøk, et på Ås og et på Øsaker.

Forsøksplanen var et blokkforsøk med 3 gjentak.

R	K	D	R	D	K	D	R	K
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Feltstørrelse: 16 m x 45 m

Rutestørrelse: 16 m x 5 m

Høsterute: 7 m x 2.1 m

Behandlinger: K: Konvensjonell jordarbeiding

D: Direktesåing

R: Redusert jordarbeiding

Figur 2. Forsøksplan for felt 2 og 3.

Disse forsøkene ble satt i gang høsten 1981. Første høsting ble foretatt høsten 1982. Feltet på øsaker ble avsluttet i 1984 pga omdisponering av arealet. Feltet på Ås er ennå igang.

Pløyinga ble foretatt om høsten til 20 cm dybde på felt 2, NLH og 25 cm dybde på felt 3, øsaker. Annen jordarbeiding; slodding, harving og fresing ble foretatt like før såing. Alle rutene ble tromlet etter såing. Feltet ble sådd med Massey Ferguson 130 direktesåmaskin. Den har 17.5 cm radavstand mens vanlige såmaskiner har ca 12.5 cm radavstand. Vi valgte derfor å bruke MF 130 direktesåmaskin over hele feltet. Gjødslinga ble i de fleste år utført som kontaktgjødsling (gjødssel og korn i samme labb). Gjødselemengden var fra 50 til 60 kg fullgjødssel 20N-5P-9K pr daa (Norsk Hydro). Dette tilsvarer 10-12 kg nitrogen pr daa. Sprøyting mot ugras ble foretatt når kornet hadde utviklet 3-4 blad. Bekjemping av kveke med glyfosat ble gjort ved behov.

Vekstene på feltene var som følger:

År	Felt 2 (Ås)	Felt 3 (Øsaker)
1982	Runar vårhvete (<u>Triticum aestivum</u> L.)	Gunilla bygg
1983	Mustang havre (<u>Avena sativa</u> L.)	Gunilla bygg
1984	Pernilla bygg (<u>Hordeum vulgare</u> L.)	Skjaldar h.hvete

3.5. MÅLEMETODER

3.5.1. Jordtemperatur

Målingene av jordtemperatur ble foretatt med bruk av termoelementer, datalogger og mikrodatamaskin. Termoelementene var av typen kopper-konstantan (type T). Disse ble ført inn på en Fluke 2200 B datalogger med 60 kanaler. Denne ble styrt av en Metric ABC-80, 16 K mikro-datamaskin som også lagret målingene på en diskett. (Diskettstasjon ABC-FD2, 2 x 80 K.) Normalt ble temperaturen målt hver time. Disketten hadde da lagerplass til data for ei uke.

Termoelementene ble plassert i sine respektive dybder ved å stikke opp et hull med en jernstang av samme diameter som termoelementkabelen. Termofølerne ble plassert i dybdene 2, 6 og 24 cm, og plassering ble kontrollert regelmessig. I 1983 ble det brukt to paralleller for temperaturregistrering pr rute. I 1984 ble det bare målt i ett punkt pr behandling og dybde. Dette skyldest at deking med halm ble innført som forsøksbehandling.

Termoelementene ble tatt opp av jorda ved jordarbeiding. Følerne ble ført vertikalt ned i jorda. Forstyrrelse av jorda ble minst på denne måten. WELTERLEN & WATSCHKE (1981) undersøkte betydning av forskjellige måter å installere termoelementer i jorda. De fant at vertikal plassering var like nøyaktig som horisontal under en bestand av 5 cm

engsvingel (Poa Pratensis L.).

3.5.2. Jordfuktighet

Bestemmelse av vannsug med tensiometer

Jordas vannsug ble målt med tensiometre av typen Soilmoisture equipment Corp (Santa Barbara Calif.) med kvikksølv- eller vakummanometer. Metoden er beskrevet av RICHARDS (1965). Disse ble plassert i dybdene 20, 40, 60, 80 og 100 cm. For å få ned tensiometrene til disse dybdene, ble det forboret med jordbor. Utplasseringen ble gjort så tidlig som mulig om våren når faren for sterk nattefrost var relativt liten. På denne tida var jorda så fuktig at det ble god kontakt mellom tensiometerkopp og jord.

Tensiometrene ble avlest og kontrollert kl 08.15 hver dag, unntatt helger eller andre fridager.

Bestemmelse av vanninnhold ved nøytronmeter

Volumprosent vann ble målt ved bruk av Troxler nøytronmeter, type AM 241/BE. Kilden ble ført ned i rør av rustfritt stål (innvendig diameter: 48.3 mm, tykkelse: 1.3 mm). Målingene ble foretatt i dybdene 0, 20, 40, 60, 80, 120 og 140 cm. Instrumentet var kalibrert ved Fysisk Institutt, NLH. Denne kalibreringen ble kontrollert og overensstemmelsen var god.

Målingene ble foretatt en gang pr uke i vekstsesongen (1984).

Gravimetrisk bestemmelse av vanninnhold

Gravimetrisk bestemmelse av vanninnholdet i jorda ble foretatt etter to metoder. Metode IV, 1 beskrevet i West-European methods for soil structure determination (DE BOODT,

1967), ble brukt en til to ganger i vekstsesongen. Disse prøvene ble tatt ut med jordbor og veid før og etter tørking ved 105°C.

Vår og høst ble det tatt ut sylindrerprøver (NJØS, 1967 c). Disse prøvene ble brukt for analyse av porestørrelsesfordelingen i jorda (se pkt 3.5.4.). I tillegg gir sylindrerprøver vanninnholdet i jorda ved prøveuttak (THUN, 1967).

3.5.3 Kornstørrelsesfordeling

Bestemmelse av kornstørrelsesfordeling ble gjort med pipette-metoden (ELONEN, 1971).

3.5.4. Volum- og tetthetsmålinger i jord.

Sylindre, 100 cm³, for uttak av uforstyrret jord, ble brukt for å finne luftvolum, porevolum, porestørrelsesfordeling, jord- og materialtetthet (VON NITZSCH, 1936). Porestørrelsesfordelingen ble bestemt ved bruk av keramiske trykkplater. (RICHARDS, 1947, 1948; MARTI & KARLSTAD, 1981). Vanninnhold ved metning, pF 1.3, pF 2, pF 3 og pF 4.2 ble målt. Luftvolumet ved pF 2 ble bestemt ved hjelp av et luftpyknometer (TORSTENSSON & ERIKSSON, 1936). Summen av luft- og vannfylte porer ved pF 2 ble brukt som porevolum.

Nyttbar vannlagringsevne er beregnet som differansen i vanninnhold ved pF 2 og pF 4.2. Vanninnholdet ved pF 2 som tilsvarer et dreneringssug på 100 cm vannsøyle, er i dette tilfelle brukt som feltkapasitet (HEINONEN, 1985). Denne er opprinnelig definert som det vanninnholdet ei mett jord vil ha når videre vanntransport nedover er stoppet (ODÉN & LUNDH, 1959). Bare i sandjord og godt aggregert leirjord vil feltkapasitet kunne bestemmes ut fra denne definisjonen. Andre jordtyper vil ikke komme i likevekt når det gjelder

vanninnhold etter 2 til 3 dager som forutsatt i definisjonen.

Jord- og materialtetthet ble også bestemt i disse prøvene.

3.5.5. Trykkfasthet

Trykkfastheten ble målt med et håndpenetrometer fra Eikjelkamp, Lathum Nederland (HILLEL, 1980). Kjeglespissen hadde en grunnflate på 1 cm^2 og vinkel på 60° . Avlest kraft vil motsvare maksimal motstand fra jorda i 0-5 cm dybde, 5-10 cm dybde osv. Det ble tatt 10 målinger pr rute. Den høyeste og laveste verdien ble strøket og middelveidien av de øvrige ble brukt for beregninger.

For målinger i 1984 ble et Bush Penetrometer benyttet (ANDERSON et al., 1980). Dette er et håndpenetrometer som er selvregistrerende. Det måler trykkmotstand for hver 3.5 cm nedover i profilet. Kjeglespissen på dette instrumentet motsvarer standarden til The American Society of Agricultural Engineering. dvs: 30° kjegle med diameter 12.83 mm, tverrsnittsareal 1.293 cm^2 .

3.5.6. Kjemiske jordanalyser

Jordprøvene til kjemisk bestemmelse ble analysert av Statens Jordundersøkelse, Ås. Jordreaksjonen ble målt som pH i en 1 : 2.5 jord : vann suspensjon, glødetap etter 4 timer ved 550°C , karboninnholdet (C) i følge TINSLEY (1950), nitrogeninnholdet (N) som Kjeldahl-N, lettløselige næringsstoffer som P-AL, K-AL og Ca-AL i følge EGNÉR et al. (1960), K- HNO_3 ifølge REITEMEIER et al. (1947). Mengden av ombyttbare kationer ble bestemt ved utvasking med 1 M NH_4 -acetat løsning ved pH 7 og ombyttbart hydrogen ved titrering med samme løsning. Summen av Na, K, Mg, Ca og H er ombyttbare kationer i me/100g jord. Basemetning (%) er beregnet som forholdet mellom summen av

Na, K, Mg og Ca og summen av ombyttbare kationer.

3.5.7. Avling, kjemiske planteanalyser og ugras

Avling

Kornet på forsøksrutene ble høstet med skurtresker. Avling av korn og halm ble registrert for hver rute. Størrelsen på høsterutene var 10.3 m² for felt 1 og 14.7 m² for felt 2 og 3. Korn- og halmavlinger er oppgitt med et vanninnhold på 15%. Tørrstoffprosenten i korn og halm ved høsting er bestemt ved tørking ved 105°C i ett døgn. Hektoliter- og tusenkornvekt ble bestemt i leddvise prøver.

Kjemiske planteanalyser

Nitrogen-innholdet (N) i korn og halm ble bestemt etter Kjeldahl-metoden. Innholdet av fosfor (P) i plantematerialet ble målt etter våtoppslutning i følge Kjeldahl prosedyren. Kalium (K) ble analysert med flammefotometer. Kalsium (Ca) og magnesium (Mg) ble bestemt med hjelp av atomabsorpsjonspektrofotometer etter gløding av prøvene. Analysene av plantematerialet ble foretatt på leddvise prøver.

Ugras

Mengden av ugras ble bestemt skjønnsmessig ved bedømmelse av bestand. Kveke (Elytrigia repens (L.) Nevski) ble bestemt alene, mens de andre ugrasartene ble slått sammen til en klasse.

3.6. BEREGNINGER

3.6.1. Jordtemperaturdata

Middel-, maksimums- og minimumstemperaturer

Ut fra de observerte data for jordtemperatur som ble målt hver time, er det bl.a. beregnet døgnmiddel og ukemiddel. Spesielt med denne beregningen er at døgnet er definert fra 12.00 til 12.00. Dette gjelder også ukemiddel. Praktiske årsaker er grunnlaget for dette. For lettere å behandle temperaturobservasjonene i perioder av størst interesse, ble data for 5 dagers perioder slått sammen. Dette ga 6 perioder i mai 1983 og 1984. Temperaturforholdene i en slik periode ble beskrevet med middel-, maksimums-, minimumstemperatur og temperaturkurvens amplitude. Verdiene for en periode blir da en midlere temperaturverdi for denne perioden.

Termisk diffusivitet

Termisk diffusivitet gir et uttrykk for hvor fort temperaturbølgen forplanter seg nedover i jordprofilen. Termisk diffusivitet er beregnet ved hjelp av formel 1 (TAYLOR & ASHCROFT, 1972).

$$D: \frac{\pi(z_2 - z_1)^2}{t \ln(A_1/A_2)} \quad (1)$$

D: termisk diffusivitet (m^2s^{-1})

z: dybde (m)

A: amplituden til temperaturkurven ($^{\circ}\text{C}$)

t: periodens lengde (s)

Forutsetningen for bruk av denne beregningsmetoden er at temperaturbølgen i overflata er en ren sinusfunksjon. Formel 1 gir derfor bare et semikvantitativt uttrykk for den

termiske diffusiviteten i jord. For å få et bedre estimat av den termiske diffusiviteten, er denne beregnet som et middel for to døgn.

Volumetrisk varmekapasitet

Jordas volumetriske varmekapasitet er beregnet ved hjelp av formel 2 (DE VRIES, 1963).

$$C_v = C_m f_m + C_o f_o + C_w f_w \quad (2)$$

C_v : Volumetrisk varmekapasitet, $J m^{-3} K^{-1}$

f_m : Volumandel av mineralmateriale

f_o : " " av organisk materiale

f_w : " " av vann

C_m : Volumetrisk varmekapasitet til mineralmateriale, $J m^{-3} K^{-1}$

C_o : " " " " " organisk materiale, "

C_w : " " " " " vann, "

Andelen av vann, porer og fast materiale er funnet ved volumetriske bestemmelser (pkt 3.5.4.). Organisk materiale er beregnet ut fra glødetap (pkt 3.5.6.). Korreksjon for leirinnhold er gjort i henhold til LÅG (1975). For å finne volumandel organisk materiale er den målte tetthet for jord (pkt 3.5.4.) brukt, samt at tetthet for organisk materiale er satt til 1.5.

Volumetrisk varmekapasitet for de ulike bestanddelene er oppgitt av HILLEL (1980). Formel 2 kan da skrives:

$$C_v = 2.01 \cdot 10^6 f_m + 2.51 \cdot 10^6 f_o + 4.19 \cdot 10^6 f_w. \quad (3)$$

Varmeledningsevne

Termisk diffusivitet er definert som forholdet mellom varmeledningsevne og volumetrisk varmekapasitet i jorda (formel 4).

$$D = K / C_v \quad (4)$$

D: Termisk diffusivitet	$m^2 s^{-1}$
K: Varmeledningsevne	$J m^{-1} K^{-1} s^{-1}$
C _v : Volumetrisk varmekapasitet	$J m^{-3} K^{-1}$

Løses ligning 4 med hensyn på varmeledningsevnen, får en ligning 5.

$$K = D * C_v \quad (5)$$

Ved hjelp av beregnede verdier for termisk diffusivitet og volumetrisk varmekapasitet gir formel 5 et uttrykk for jordas varmeledningsevne.

3.6.2. Statistiske metoder

Forsøksdataene er beregnet på regneanlegget til NLVF's sentral for forsøksmetodikk og databehandling (FDB-sentralen) på Ås og på mikrodatamaskin.

FDB-sentralen benytter programpakken SAS på sitt regneanlegg. SAS-programmene ANOVA (Analysis of Variance) (GOODNIGHT, 1982) og GLM (General Linear Models) (GOODNIGHT et al., 1982) ble benyttet for variansanalyse. På mikrodatamaskinene ble statistikkpakken "MSTAT" av NISSEN & MOSLETH (1985) brukt.

Forsøksopplegget for jordtemperaturmålingene var ufullstendig med hensyn til statistiske beregninger av resultatene.

Forsøket hadde ingen gjentak, derfor ble år og perioder brukt som gjentak. Variansene ble testet mot en feil som besto av høyeste samspill pluss andre samspill som ikke var interessante å få variansanalyse for. Når forsøket er fastliggende og temperaturen måles med samme termoelement i alle perioder, kan hverken år eller periode regnes som tilfeldige variabler. Jordstrukturen vil utvikle seg forskjellig for de ulike behandlingene. Under diskusjonen er det nødvendig å ta hensyn til de statistiske tillemplinger som er gjort i dette materialet.

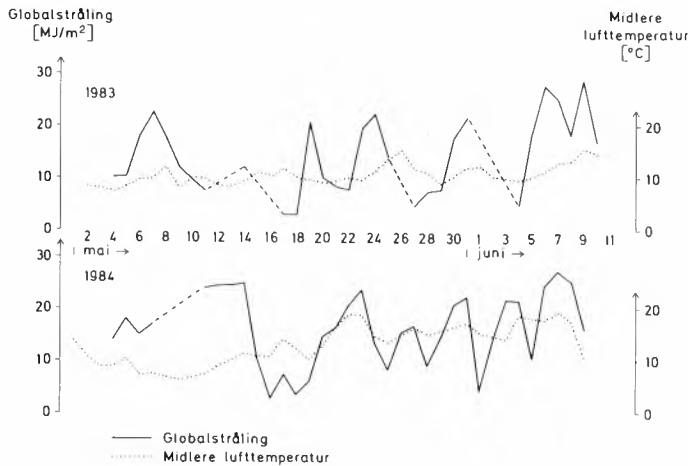
Forsøksopplegget var heller ikke faktorielt pga for få innganger på dataloggeren. Variansanalysen er derfor foretatt på tre ulike måter avhengig av behandling. De tre ulike jordarbeidingssystemene med og uten pakking er beregnet i en variansanalyse. For å se på effekten av pakking og tromling av det konvensjonelle såbedet ble dette beregnet alene. Halmdekking ble bare utført i 1984 derfor måtte også disse resultatene behandles i en egen variansanalyse. For å teste effekten av halm ble (jordarbeiding x pakking) brukt som ledd. Variansanalysene for disse beregningene er vist i vedlegg 1-3.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

4.1. JORDTEMPERATUR

Resultatene som følger i dette kapitlet om jordtemperatur, er hovedsaklig konsentrert om 2 perioder; mai 1983 og mai 1984. Valg av periode er gjort ut fra den forutsetning at det er tiden fra såing til busking hvor jordtemperaturen er mest påvirket av ulik behandling av jorda. Etter dette vil plantedekket være så høyt og tett at det betyr mer for jordtemperaturen enn ulik jordbehandling. Dessuten vil ulikheter i overflatas struktur reduseres, slik at forskjeller i jordtemperatur pga jordarbeiding etc vil være utjevnet.

Både innstråling og lufttemperatur må regnes som "faste faktorer" ved dyrking på friland, selv om begge disse faktorene varierer med tid og sted. Globalstrålingen og lufttemperaturen for perioden 01.05. til 10.06. for både 1983 og 1984 er vist i figur 3.



Figur 3. Globalstråling ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$) og midlere lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$) i mai/juni 1983 og 1984 (Været på Ås, Fysisk institutt, NLH, 1983, 1984).

4.1.1. Døgnvariasjon for jordtemperatur

Temperaturen i jorda har et kurveforløp tilnærmet en sinusfunksjon med periode lik et døgn. I tillegg har også jordtemperaturen en årsvariasjon. Disse funksjonene endrer fase og amplitude nedover i jordprofilet og når andre faktorer, f.eks innstråling, vanninnhold i jord, jordtetthet etc. varierer.

Figurene 4-13 viser jordtemperaturen i ulike dybder etter at jorda har fått forskjellig behandling. Disse kurvene angir jordtemperaturen i fire ulike perioder, 07-08.05.83, 05-06.06.83, 06-07.05.84 og 03-04.06.84. Det som kjennetegner disse to årene er at i mai 1983 var nedbøren forholdsvis jevnt fordelt. I 1984 var det lite nedbør før perioden 06-07.05., mens det før og i andre periode kom relativt mye nedbør. I pkt 4.2, figur 26 er nedbørens fordeling i vekstsesongene 1983 og 1984 vist.

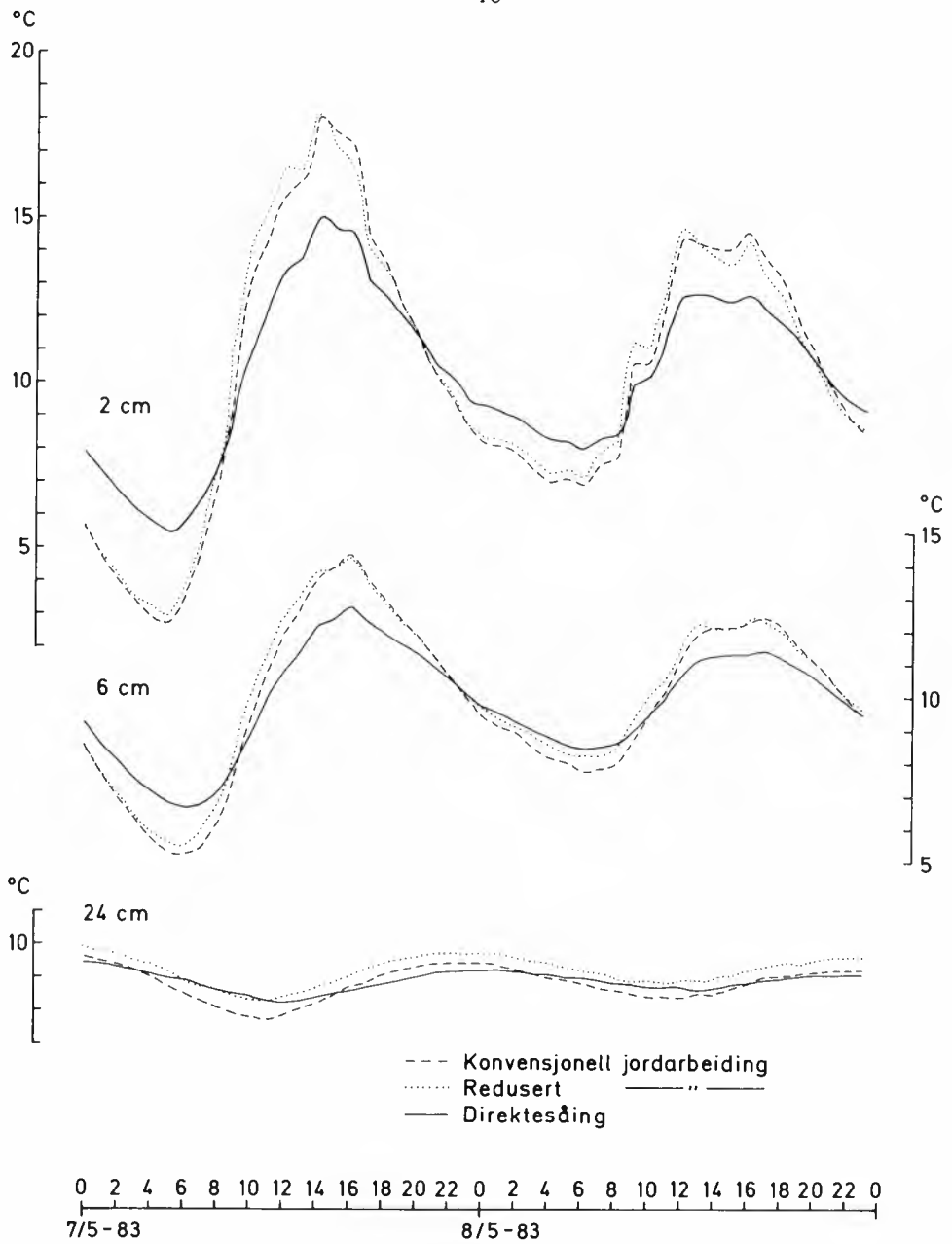
I 1. periode 1983 (1.83) var innstråling relativ høy og jevn, men med en topp 07.05.83 (fig. 3). Perioden 05-06.06.83 (2.83) er kjennetegnet med sterkt stigende innstråling. Innstrålingen var lav for dagene før 05.06.83. Figur 3 viser at i 1984 er innstrålingen relativ jevn for dagene 06-07.05. (1.84). Dette er også tilfelle i 2. periode (03-04.06) i 1984 (2.84).

Figurene 4-13 viser at temperaturkurvene i 6 og 24 cm dybde er faseforskjøvet i forhold til temperaturkurven i 2 cm dybde. Generelt ligger kurven for 6 cm dybde 1 time og kurven for 24 cm 8 timer etter temperaturkurven for 2 cm dybde. Denne forsinkelsen vil bl.a. være avhengig av vanninnhold og tetthet i jorda slik at den endres med tid og med ulik jordbehandling.

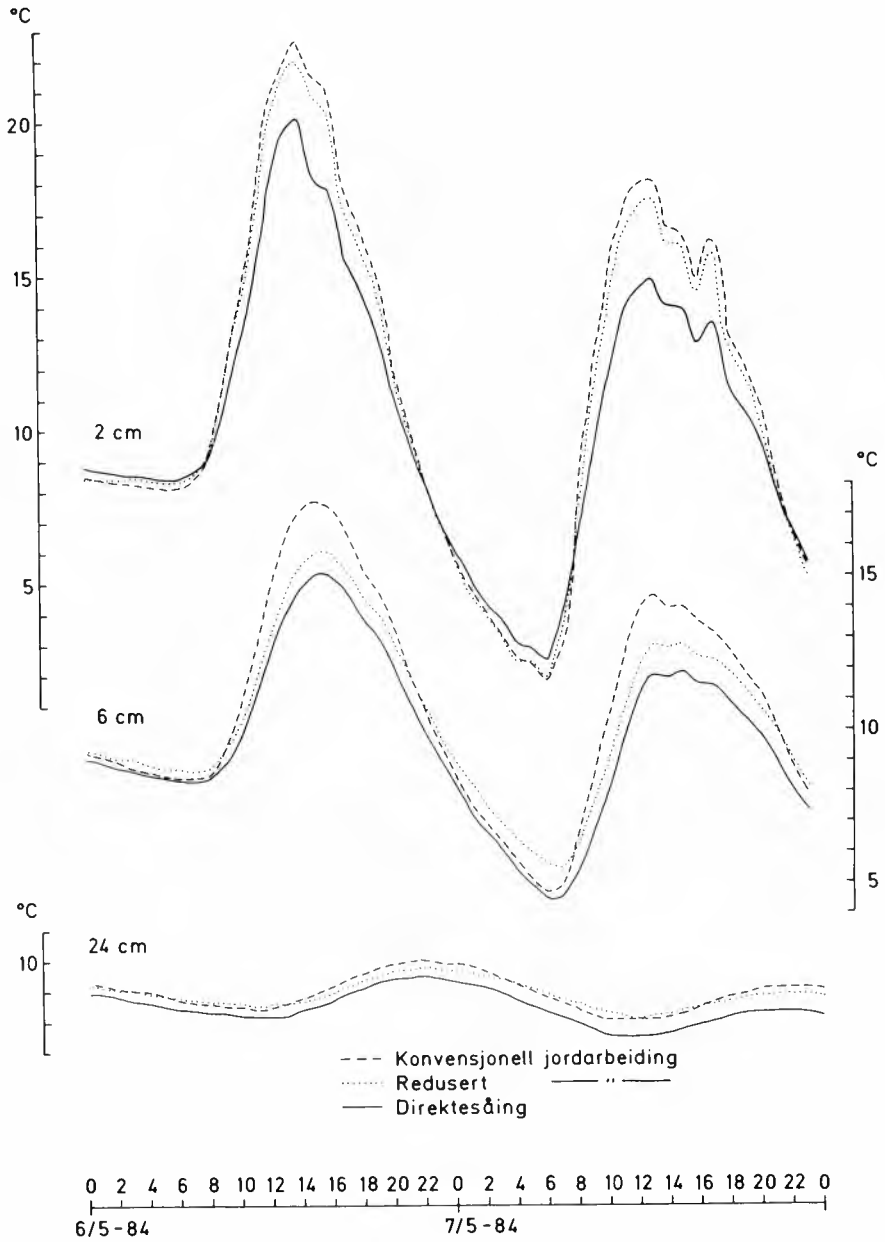
Figurene 4, 5, 6 og 7 viser hvordan temperaturen varierer i døgnet i ulike dybder og etter ulike jordarbeidingssystem for henholdsvis periodene 1.83, 1.84, 2.83 og 2.84.

I 2 cm dybde viser figurene 4, 5 og 6 at direktesåing gir lavere jordtemperaturer om dagen, men høyere jordtemperaturer om natten, sammenlignet med konvensjonell og redusert jordarbeiding. Forskjellene er størst nær kurvenes maksimums- og minimumsverdier. I periode 2.84 (fig. 7) er det liten forskjell på kurvenes dagverdier, men om natta er forholdet som beskrevet for figur 4, 5 og 6. Dette kan skyldes kraftig nedbør like før og under perioden. Regn vil føre til utjevning av forskjellene mellom behandlingene pga vanninnholdets betydning for jordas varmeledningsevne og volumetriske varmekapasitet. Dessuten hadde såbedet etter konvensjonell jordarbeiding lettere for å slemmes igjen ved regn og overflata kunne fort bli hvit etter opptørking. Dette fører til økt refleksjon av solenergien. Konvensjonell og redusert jordarbeiding (uten pakking) har nærmest like temperaturkurver i 2 cm dybde. Periode 1.84 skiller seg ut ved at konvensjonell jordarbeiding har høyere temperaturverdier om dagen enn redusert jordarbeiding. Det var lite nedbør før og under denne perioden (pkt 4.2, fig. 26). Målingene av vanninnholdet i jorda viste ikke noen forskjell mellom konvensjonell og redusert jordarbeiding uten pakking.

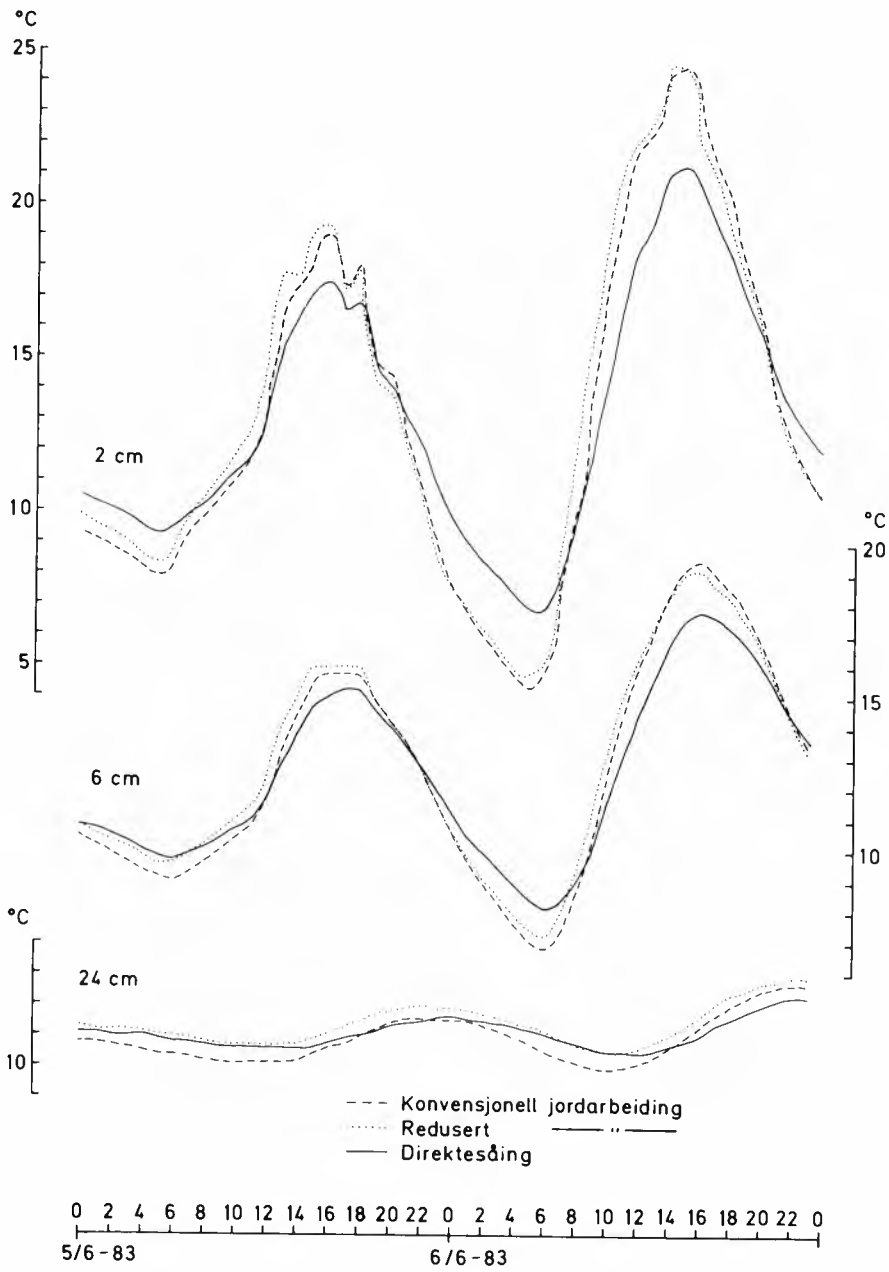
I 6 cm dybde er forholdene de samme som ved 2 cm. Direktesåing reduserer amplituden for døgnsvingningene. Periodene 1.83 og 2.83 (fig. 4 og 6) viser at det er liten forskjell mellom konvensjonell og redusert jordarbeiding. I 1984 er forskjellen mellom disse to behandlingene klarere. Det er konvensjonell jordarbeiding uten pakking som har høyest maksimum og lavest minimum i de to periodene i 1984 (fig. 5 og 7).



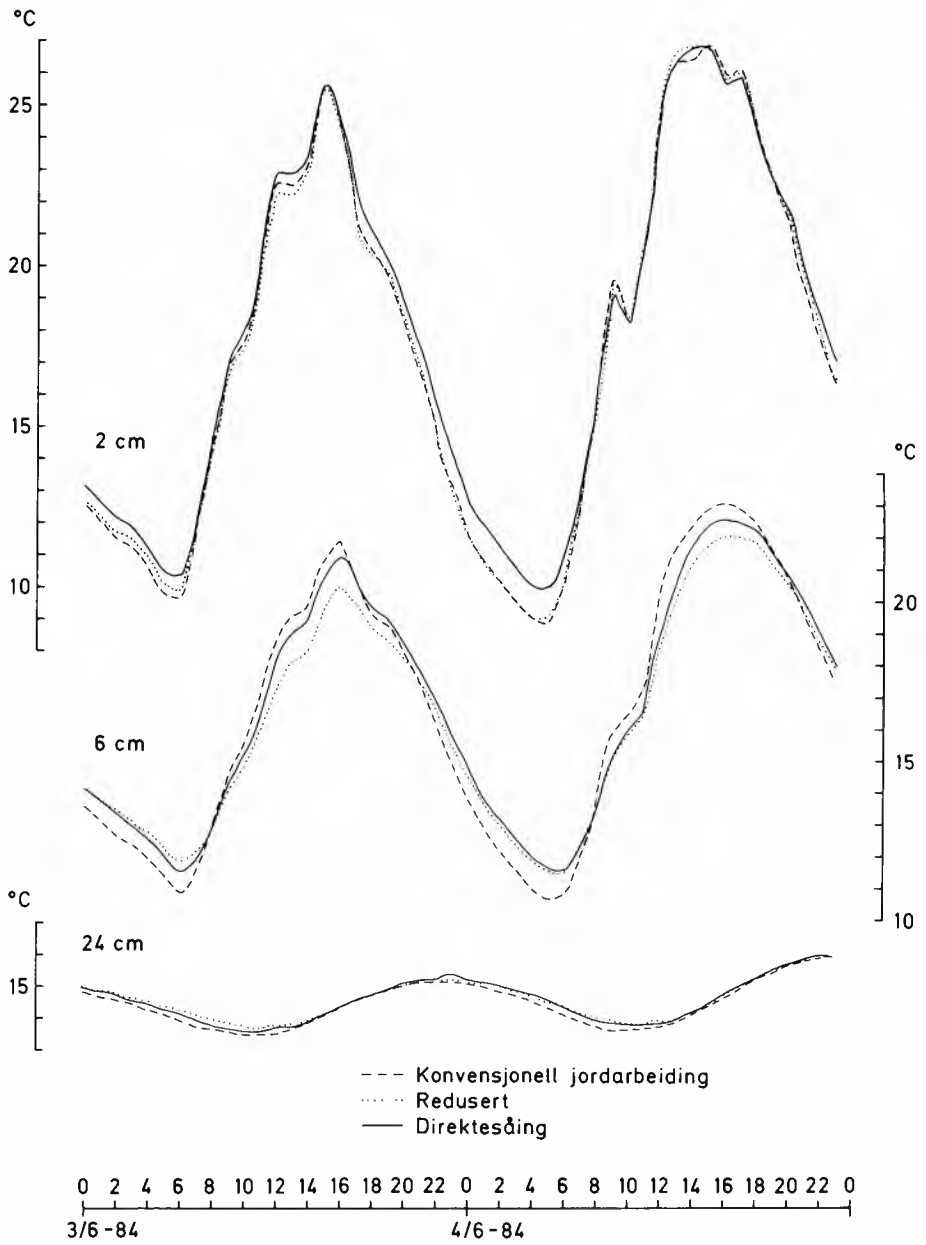
Figur 4. Jordtemperatur (°C) for ulike jordarbeidingssystem, uten pakking av jorda, 07-08.05.83.



Figur 5. Jordtemperatur (°C) for ulike jordarbeidingsystem, uten pakking av jorda, 06-07.05.84.



Figur 6. Jordtemperatur (°C) for ulike jordarbeidingsystem, uten pakking av jorda, 05-06.06.83.



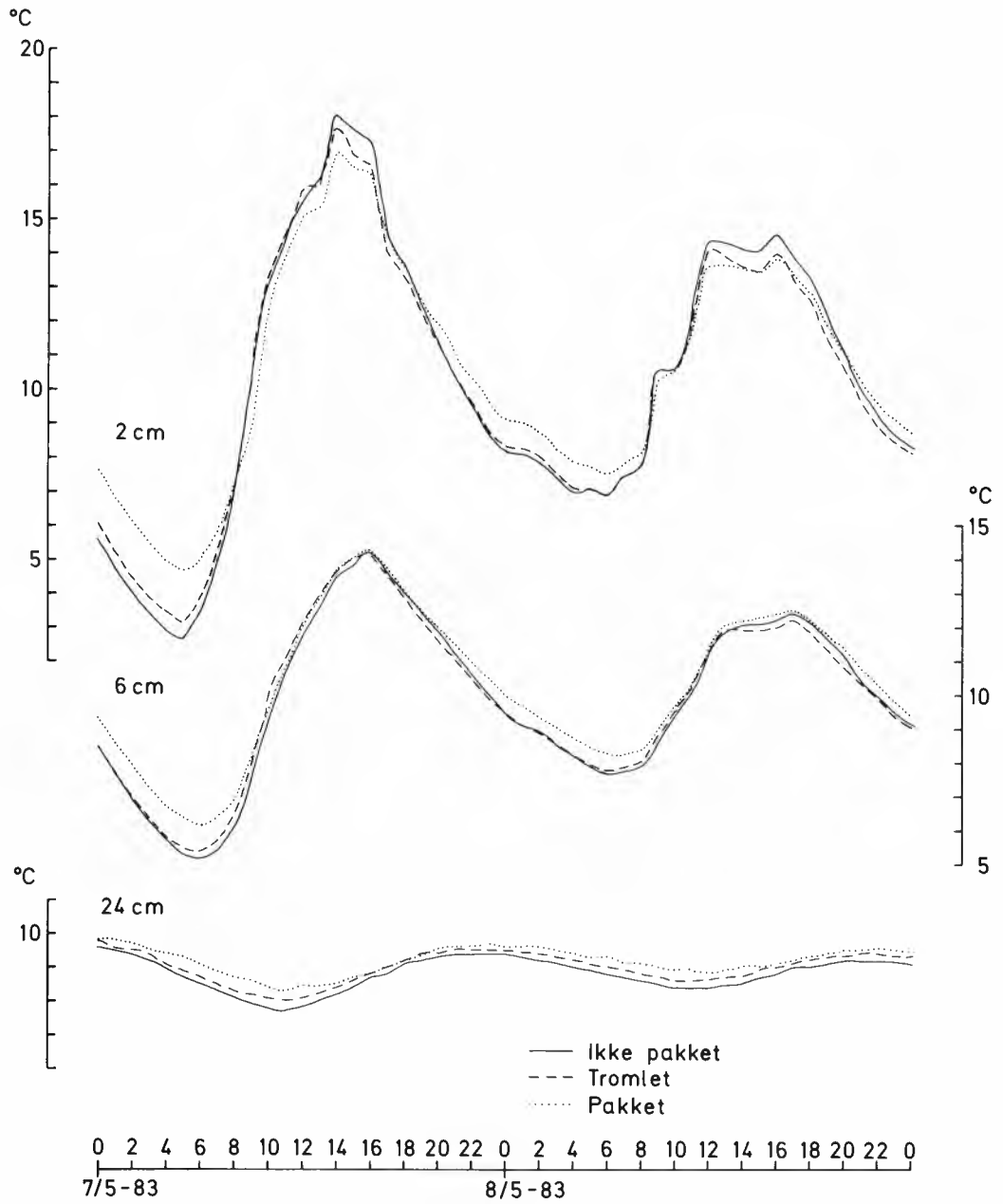
Figur 7. Jordtemperatur (°C) for ulike jordarbeidingsystem, uten pakking av jorda, 03-04.06.84.

Dypere ned i profilet ved 24 cm kan en på figur 4, 6 og 7 se at konvensjonell jordarbeiding uten pakking har de laveste temperaturene. Figur 5 viser at i periode 1.84 har direkte-såing lavere temperaturer enn de to andre behandlingene.

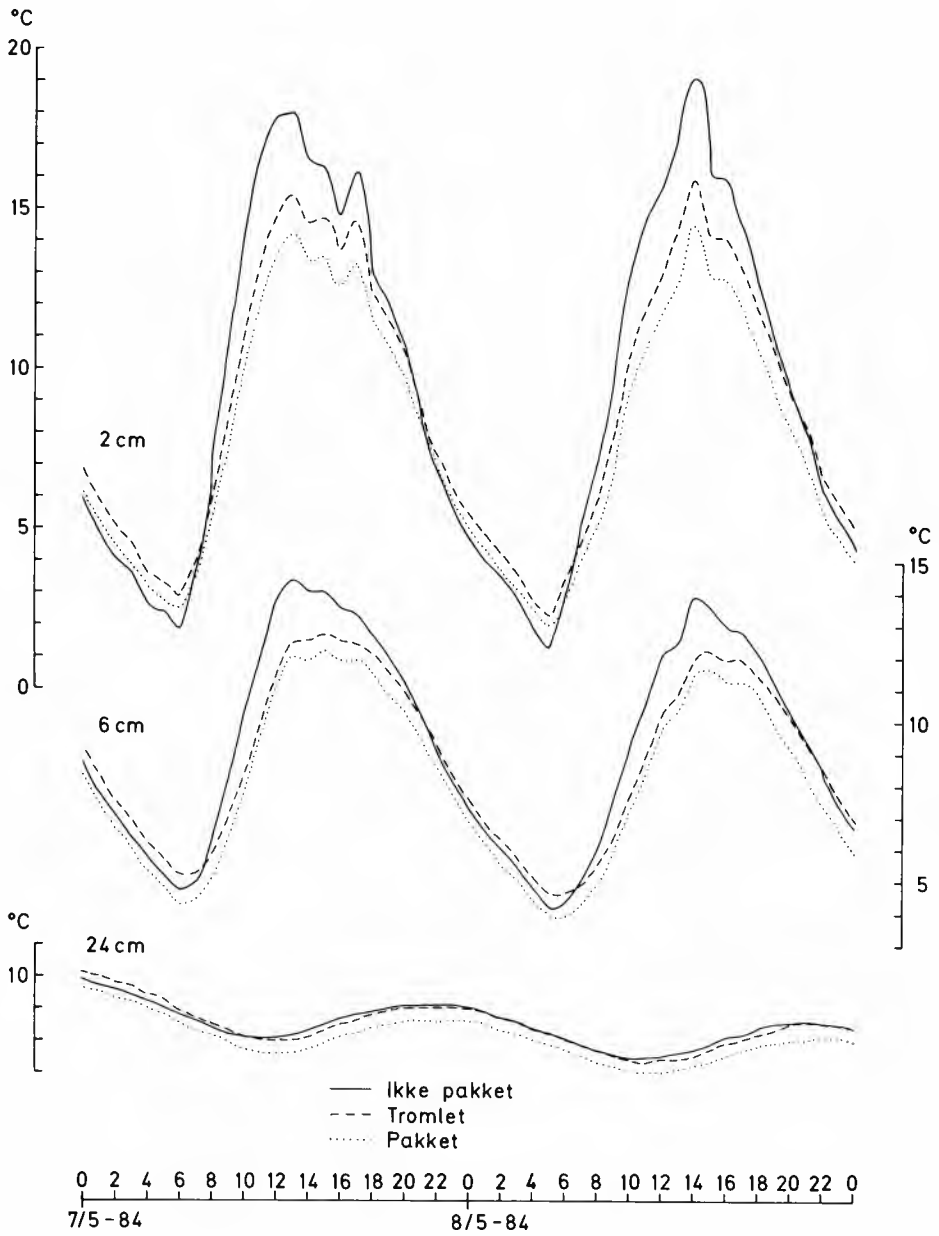
Figurene 8, 9, 10 og 11 viser jordtemperaturen i 3 dybder ved 4 ulike tidspunkt for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing.

I periode 1.83 og 2.83 (fig. 8 og 10) har såbedet som ikke er pakket eller tromlet, høyest maksimum og lavest minimum jordtemperatur i 2 cm dybde. Pakking har gitt lavest maksimum og høyest minimum i denne dybde. Tromling av såbedet gir en temperaturkurve mellom temperaturkurven for upakket og pakket, men nærmere upakket enn pakket. Figur 9 viser jordtemperaturen 07-08.05.84. Utslagene er de samme, men differansen mellom kurvene er vesentlig større. Perioden 2.84 (fig. 11) skiller seg ut fordi tromling gir lavere maksimums-temperatur i 2 cm dybde enn pakking. Dette er tydelig andre dagen i perioden.

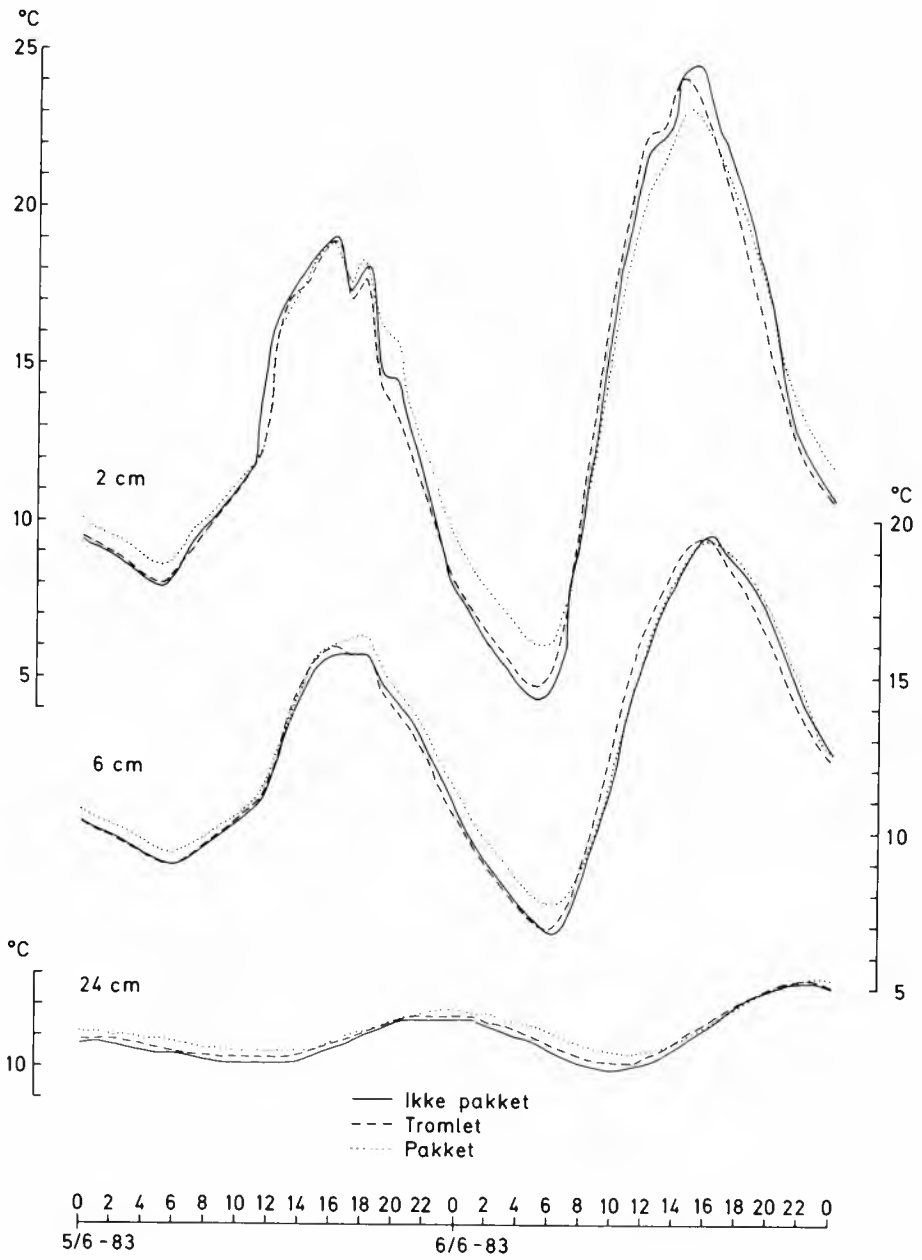
I 6 cm dybde, er kurvenes amplitude dempet og differansen mellom behandlingene mindre (fig. 8, 9, 10 og 11). I 1983 (fig. 8 og 10) er kurveforløpet ved de to tidspunktene nokså likt. Temperaturen i 6 cm dybde for den pakkete jorda ligger i gjennomsnitt noe over de to andre behandlingene. I 1984 (fig. 9 og 11) er forholdene noe annerledes. Av figur 9 går det fram at ubehandlet såbed har betydelig høyere temperaturer på dagtid enn de to andre behandlingene. Pakking har ført til kaldere jord i denne perioden. Seinere i 1984 (fig. 11) er forholdene mer lik kurvene for 1983 (fig. 8 og 10).



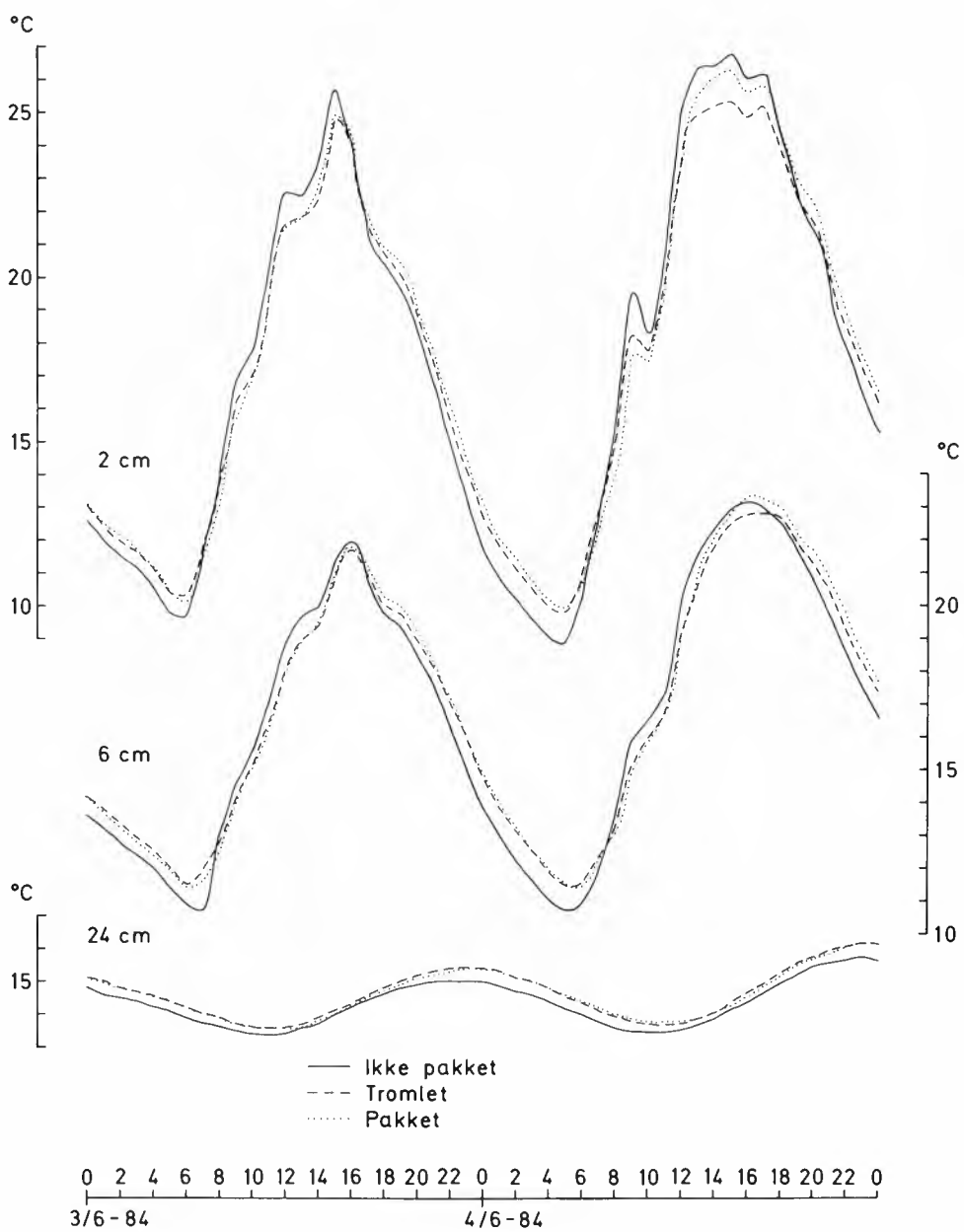
Figur 8. Jordtemperatur (°C) for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing, 07-08.05.83.



Figur 9. Jordtemperatur (°C) for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing, 07-08.05.84.



Figur 10. Jordtemperatur (°C) for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing, 05-06.06.83.



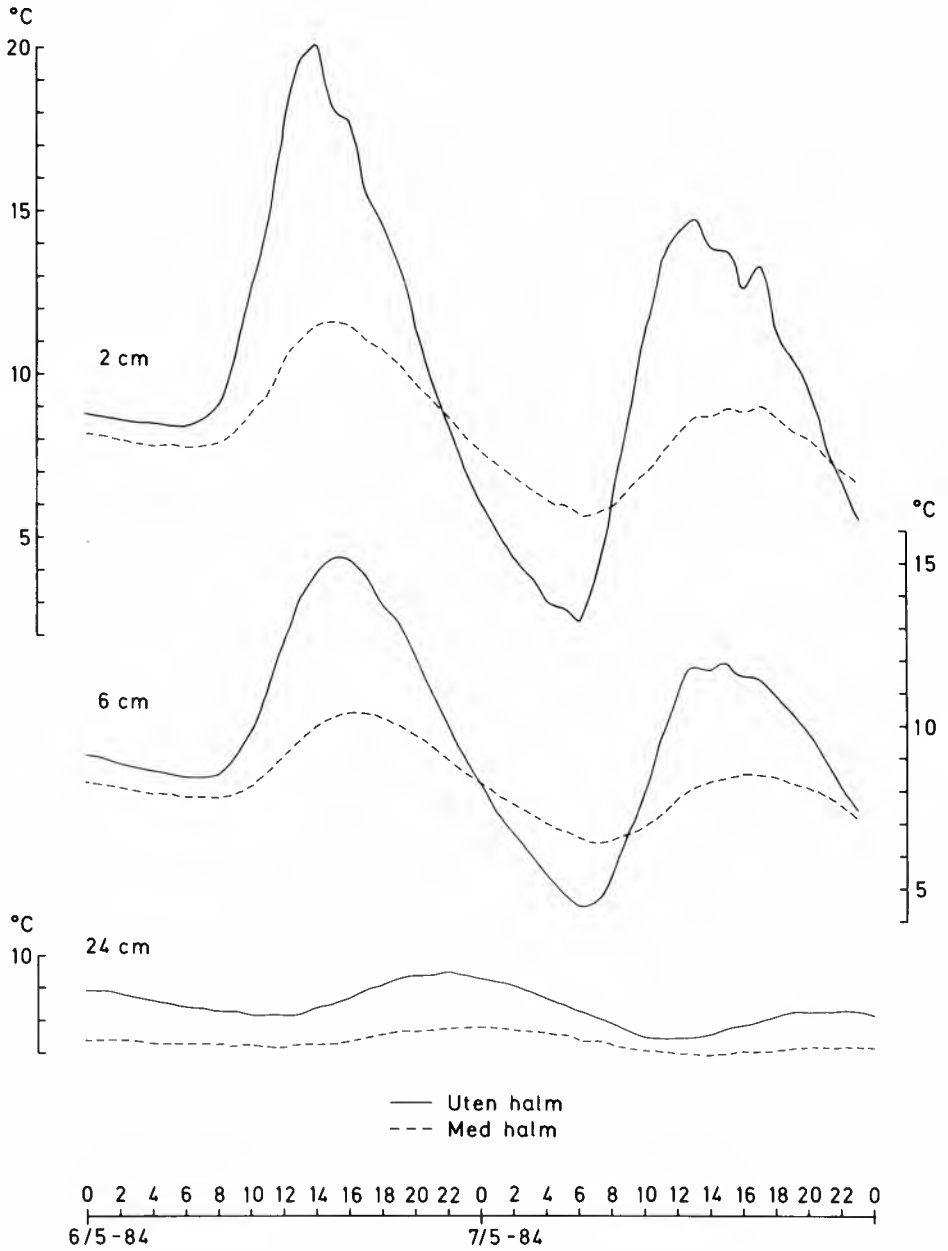
Figur 11. Jordtemperatur (°C) for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing, 03-04.06.84.

Lenger ned i profilet, 24 cm, har pakking av jorda ført til høyere temperaturer sammenlignet med jord som ikke ble pakket (fig. 8 og 10). Temperaturkurven for tromling kommer igjen i en mellomstilling. Dette gjelder spesielt for de to periodene i 1983 (fig. 8 og 10), men også for periode 2.84 (fig. 11). I denne perioden har tromling gitt samme temperaturheving som pakking sammenlignet med upakket jord. Igjen skiller perioden 1.84 (fig. 9) seg ut ved at pakking har ført til temperatursenkning i 24 cm dybde sammenlignet med upakket og tromlet jord.

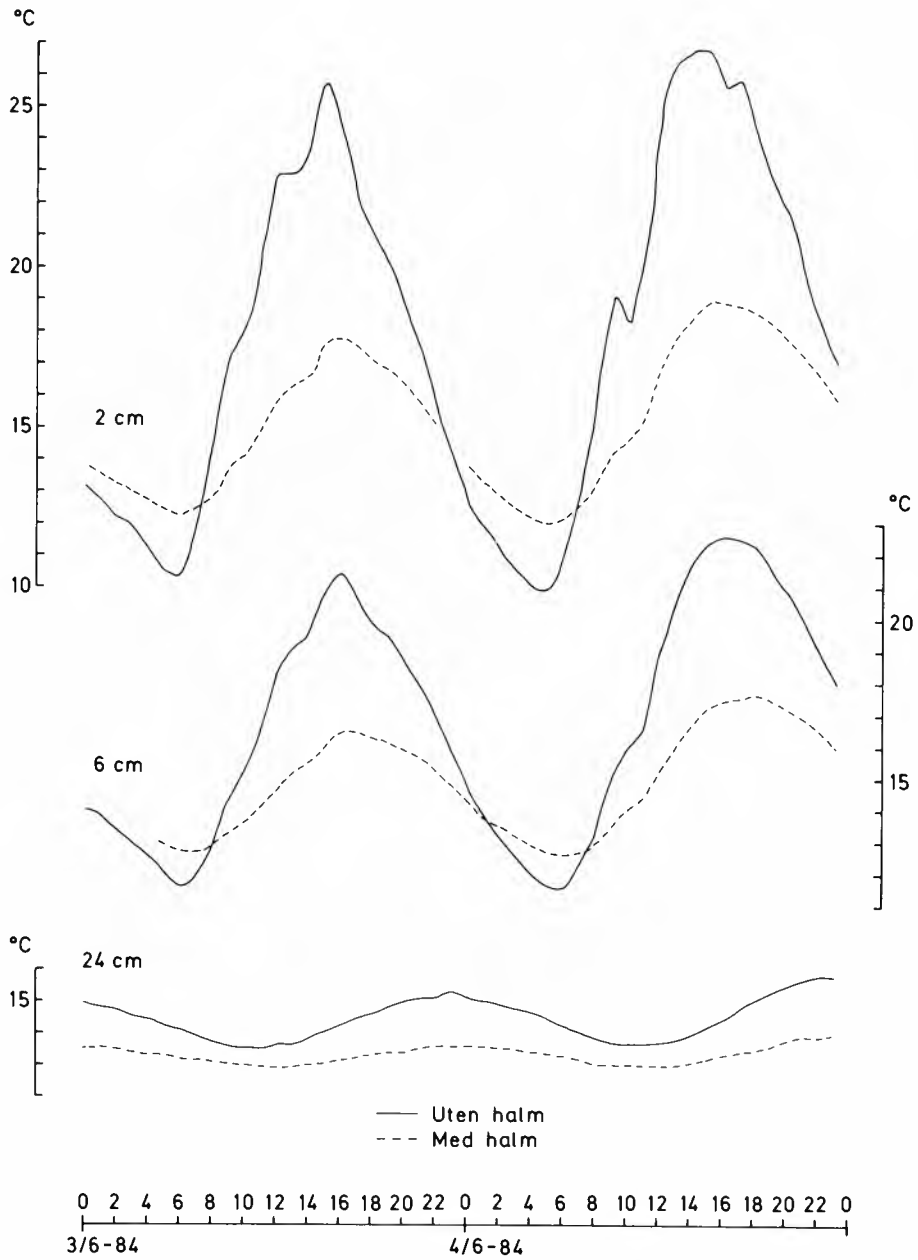
Etter direktesåing og redusert jordarbeiding er utslagene for pakking de samme som for konvensjonell jordarbeiding, men utslagene er mindre. Disse resultatene er ikke framstilt i figurer.

Figur 12 og 13 viser virkningen av et halmdekke på overflata ved direktesåing i dybde 2, 6 og 24 cm. Halm på overflata demper temperaturamplituden sterkt, spesielt nær overflata, men også nedover i profilet. Maksimumstemperaturen i 2 cm dybde er redusert med 6-8°C og minimumstemperaturen er hevet 3-4°C. Dette er selvsagt helt avhengig av inn- og utstråling av energi. Det ser ut som temperaturkurvens fase forskyves noe slik at maksimumstemperaturen inntreffer noe seinere, når jorda er dekket med halm sammenlignet med bar jord.

Ved 6 cm dybde er reduksjonen av maksimumstemperaturen 4-6°C og hevingen av minimumstemperaturen ca 2°C når jorda dekkes med halm sammenlignet med bar jord. 24 cm ned i profilet vil jorda i gjennomsnitt være 1.5-2.5°C kaldere når den er dekket med halm. Forskjellen er størst for perioden 06-07.05.84, noe mindre i perioden 03-04.06.84. Denne virkningen av halm på overflata er nokså identisk for de andre behandlingene også, men dette er ikke vist i figurene.



Figur 12. Jordtemperatur (°C) for direktesåing med og uten halm på overflata, 06-07.05.84.



Figur 13. Jordtemperatur (°C) for direktesåing med og uten halm på overflata, 03-04.06.84.

4.1.2. Døgnmidler av jordtemperatur i mai

Døgnmidlene for mai 1983 og 1984, som er vist grafisk i figur 14 og 15, er beregnet ved å faseforskyve døgnet 12 timer. For noen dager mangler målingene pga teknisk svikt, strømbrydd etc. Dette vises som brudd i kurvene.

Det er ikke så store utslag for døgnmiddel som for maksimum- og minimumsverdiene for jordtemperaturen. Selv om det ikke er store forskjeller, viser figur 14 at redusert jordarbeiding har noe høyere middeltemperatur i 2 cm dybde enn konvensjonell jordarbeiding. Kurven for direktesåing ligger stort sett mellom kurvene for de to andre behandlingene. I mai 1984 er forholdet et annet (fig. 15), i begynnelsen av mai ligger døgnmidlet for direktesåing under redusert jordarbeiding som igjen har lavere middeltemperaturer enn konvensjonell jordarbeiding. Seinere i mai ble forholdet mellom jordarbeidingsystemene når det gjelder døgnmiddeltemperaturen, motsatt. Årsaken til dette er nok nedbør som regelmessig har senket middeltemperaturen mer ved konvensjonell jordarbeiding enn de andre behandlingene. Nedbør har ført til høyere vanninnhold i de øvre 20 cm i den pløyde jorda sammenlignet med den upløyde jorda. Det kan være flere grunner til dette f.eks større mettet vannledningsevne i topplaget, men et sperresjikt i plogsålen forsinker vanntransporten videre nedover i profilet. Tensiometermålingene (pkt 4.2.3) viste at i 20 cm dybde falt vannsuget raskere og ofte mer i en regnværperiode i pløyd enn i frest og direktesådd jord.

I 6 cm dybde er forholdet mellom de ulike jordarbeidings-systemene det samme som i 2 cm dybde. I mai 1983 lå døgnmiddeltemperaturen i 24 cm dybde for konvensjonell jordarbeiding uten pakking under både redusert jordarbeiding og direktesåing (fig. 14). I 1984 ga direktesåing lavest verdier for døgnmiddeltemperatur i første halvdel av mai (fig. 15). I

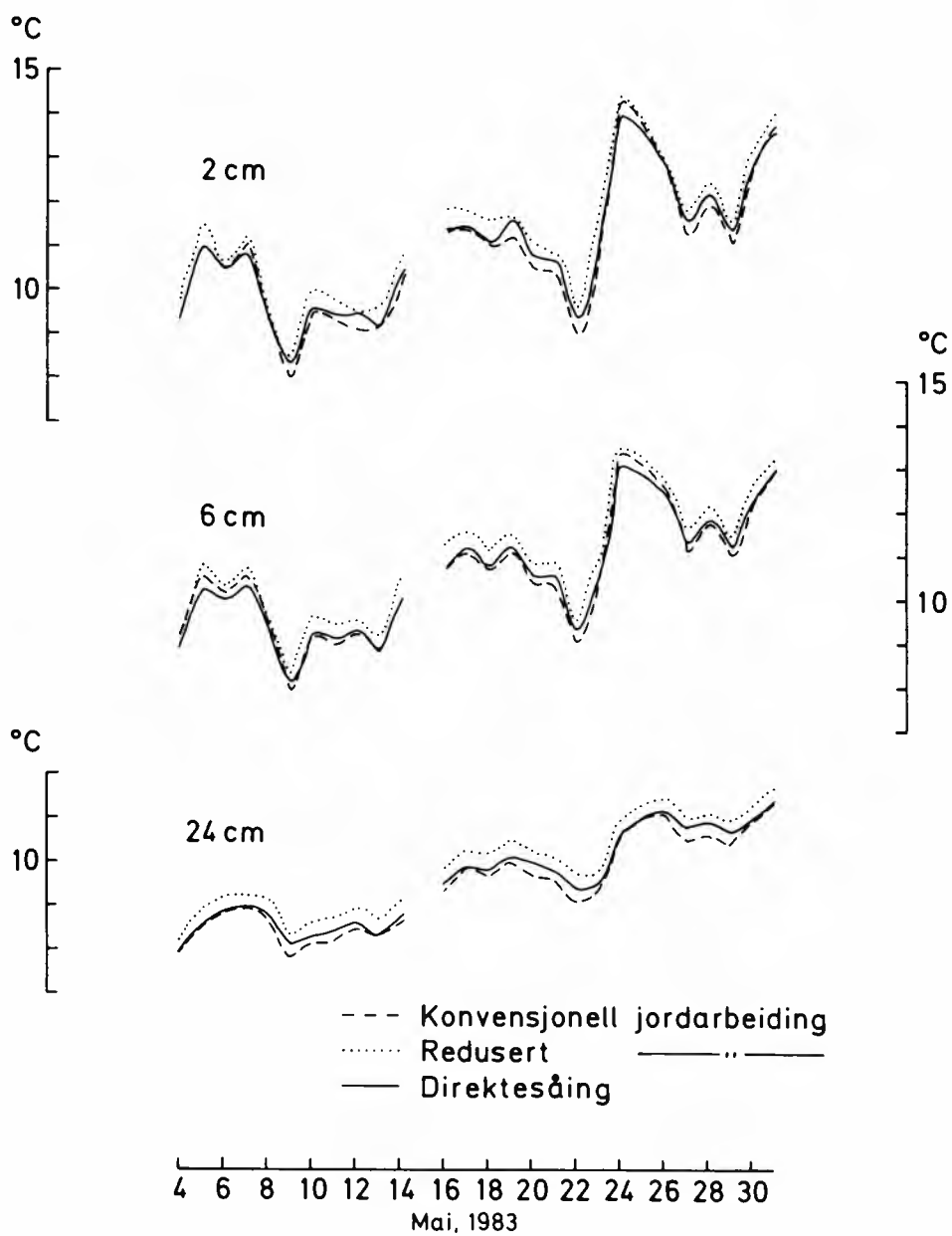
slutten av mai jevnet dette seg ut og de tre behandlingene lå relativt samlet.

I mai 1983 har pakking ført til høyere døgnmiddeltemperaturer i pløyd sammenlignet med upakket og tromlet jord (fig. 16). Tromling som behandling kommer i en mellomstilling av de to andre behandlingene. Dette gjelder både 2, 6 og 24 cm. Dette tyder på at både pakket og tromlet jord har akkumulert mer varme enn upakket jord.

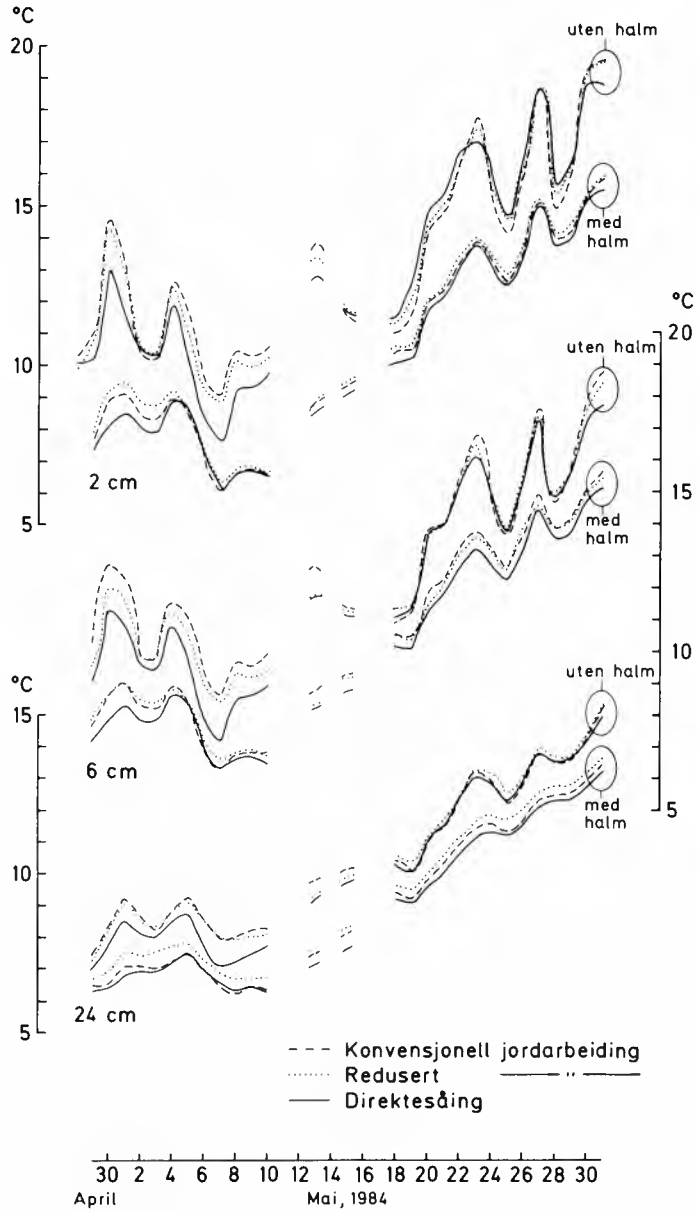
De samme kurvene for mai 1984 er vist i figur 17. Før 15. mai har leddet uten pakking høyere døgnmiddeltemperaturer enn de to andre behandlingene. I siste halvdel av mai er innstrålingen svært varierende og dermed svinger kurvene for middeltemperaturene i 2 cm dybde mye.

Det er samme virkning av pakkingsbehandlingene og den varierende innstrålingen i 6 cm dybde. Ved 24 cm er forskjellene utjevnet noe, men tromlet og upakket har noe høyere døgnmiddeltemperatur enn pakket i første halvdel av mai. Fra 15. mai 1984 er døgnmiddeltemperaturen for jord uten pakking lavere enn for de to andre behandlingene.

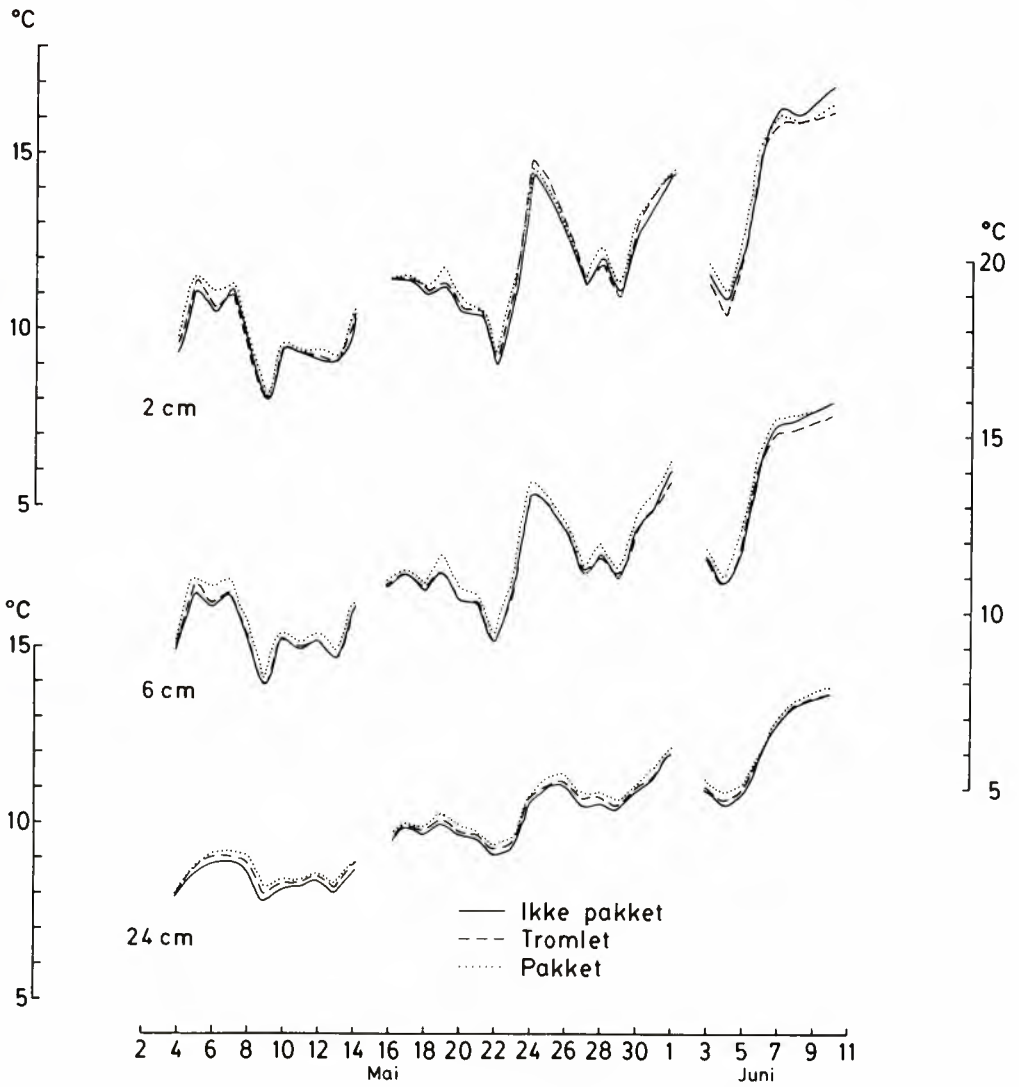
Årsaken til at pakking og delvis tromling har senket døgnmiddeltemperaturen i de tre dybdene i første halvdel av mai 1984, er trolig at mer av solenergien blir reflektert ved disse behandlingene sammenlignet med et upakket såbed. Dette kan skyldes overflatas beskaffenhet på dette tidspunktet. Et harvet såbed som tromles eller pakkes, får ei relativt jevn overflate. Albedo er større for ei jevn enn ei ru overflate. ALLMARAS et al. (1977) melder om høyere nettoinnstråling for pløyd og pløyd + harvet jord sammenlignet med pløyd + pakket jord. Halm senker døgnmiddeltemperaturen betydelig i hele mai 1984 (fig. 15). Virkningen er størst nær overflata og på dager med stor innstråling.



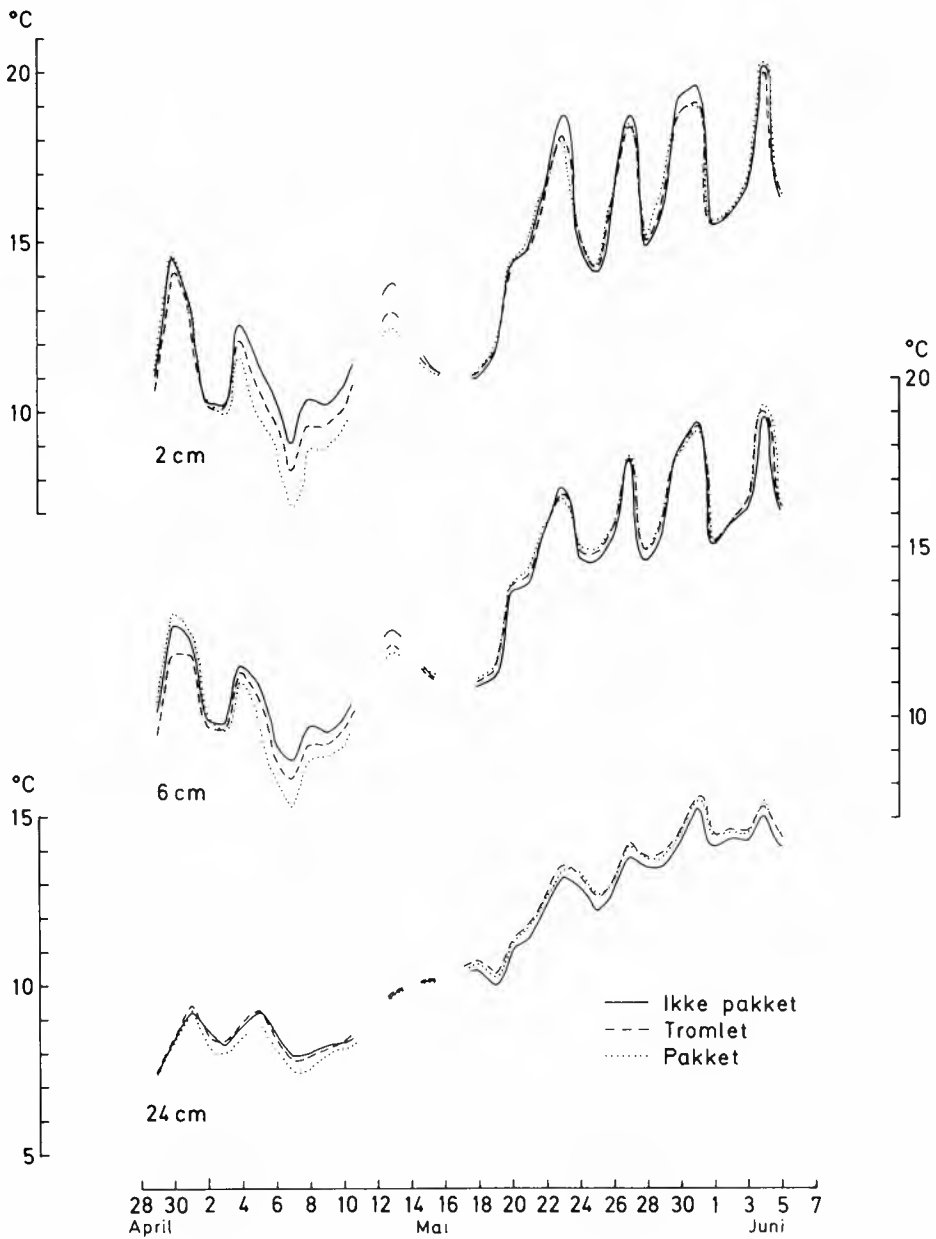
Figur 14. Døgnmidler av jordtemperatur, mai 1983, for ulike jordarbeidingssystem uten pakking.



Figur 15. Døgnmidler av jordtemperatur, mai 1984, for ulike jordarbeidingssystem uten pakking, med og uten halm på overflata.



Figur 16. Døgnmidler av jordtemperatur, mai 1983, for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing.



Figur 17. Døgnmidler av jordtemperatur, mai 1984, for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing.

4.1.3. Ukemidler av jordtemperatur i vekstsesongen

Figurene 18-22 viser hvordan middeltemperatur over uke har vært i vekstsesongen 1983 og 1984 for ulike dybde og ulike behandling av jorda.

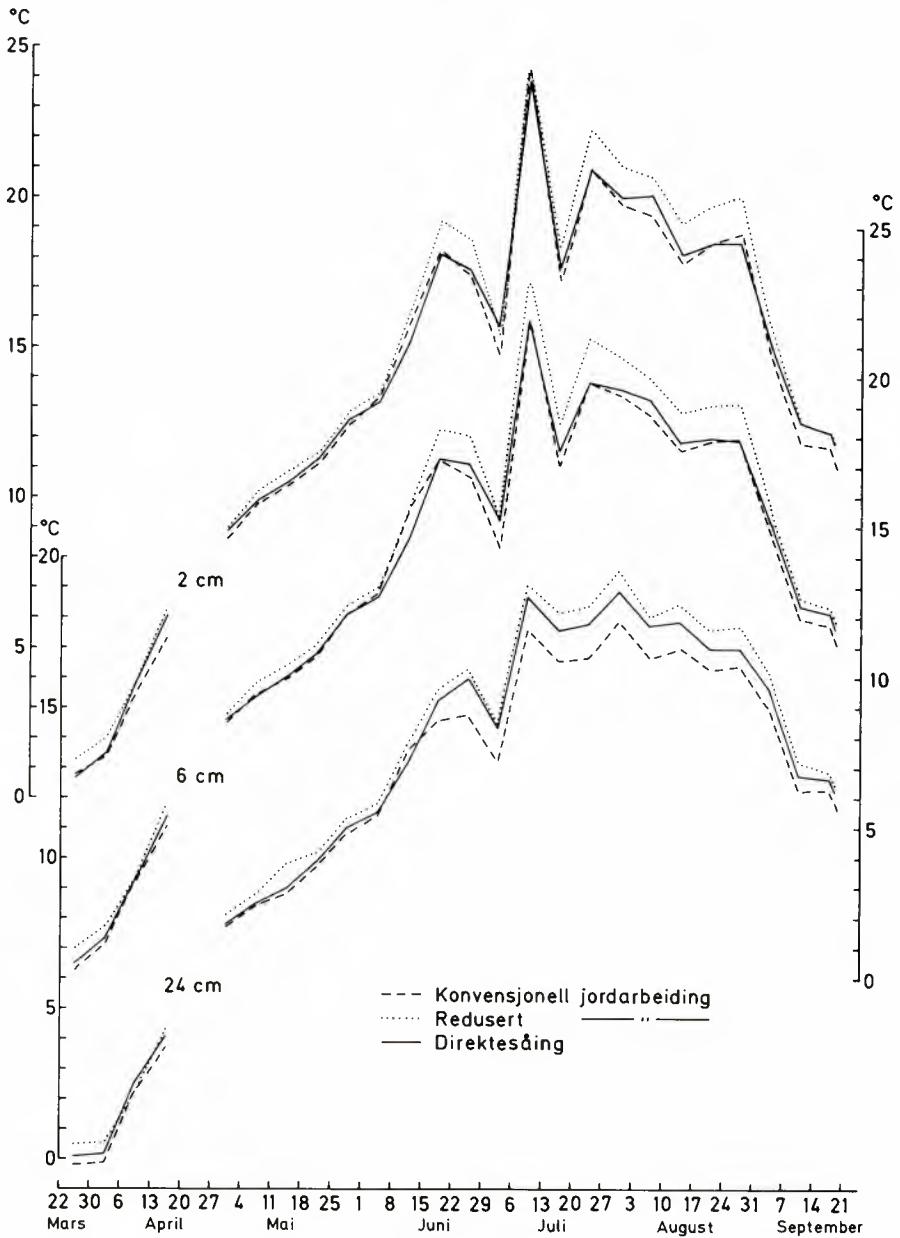
I 1983 (fig. 18) har redusert jordarbeiding ført til høyere middeltemperatur sammenlignet med direktesåing og konvensjonell jordarbeiding. Dette er tilfelle både i 2, 6 og 24 cm dybde gjennom hele vekstsesongen. I 24 cm dybde har konvensjonell jordarbeiding klart lavere ukemiddel for jordtemperaturene enn de to andre behandlingene. Det er verdt å merke seg at forskjellene mellom behandlingene øker fra 17.06.83. Dette skyldes at det ble foretatt en ny forsøksbehandling denne dagen. Hensikten med dette var å bryte ei hvit skorpe som var dannet på overflata. Denne skorpa forårsaket at refleksjonen av solenergi ble stor.

I 1984 (fig. 19) er forholdet et annet, dessuten er differansene vesentlig mindre. I første halvdel av mai er konvensjonell jordarbeiding varmere enn direktesåing. Redusert jordarbeiding ligger delvis mellom de to andre behandlingene. Dette gjelder i alle tre dybder. Fra midten av mai til midten av juni er det liten forskjell mellom de ulike jordarbeidingssystemene uansett dybde. Etter 15. juni er det en periode hvor direktesåing er varmest i 2 cm dybde, mens det er redusert jordarbeiding som har høyest ukemiddel i 24 cm dybde. Resten av vekstsesongen er det konvensjonell jordarbeiding som gir lavest ukemiddel for de tre dybdene. I 2 cm dybde er det liten forskjell mellom redusert jordarbeiding og direktesåing, men nedover i profilet er redusert jordarbeiding varmere enn direktesåing.

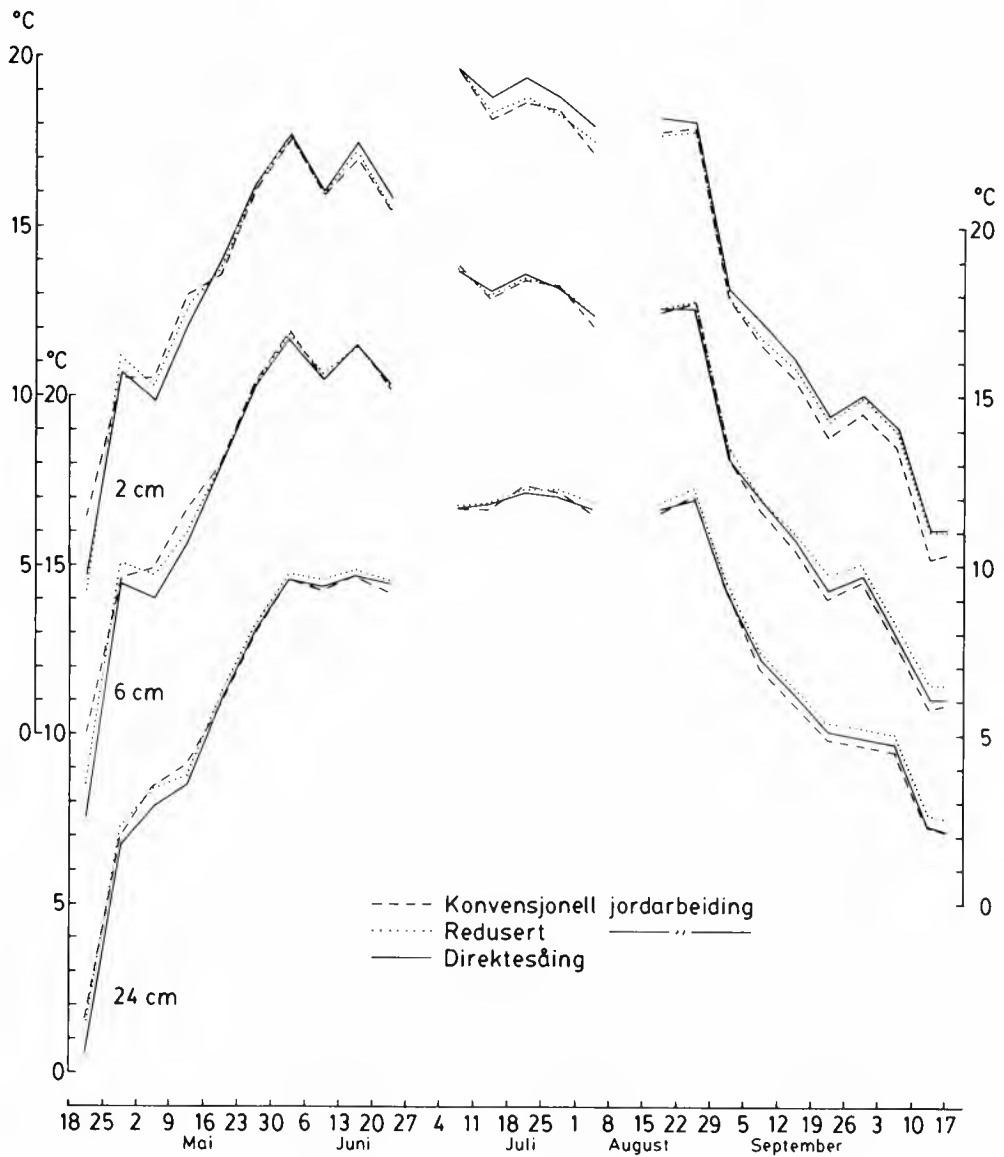
Konvensjonell jordarbeiding har i 1983 (fig. 20) reagert ganske entydig på tromling og pakking. Såbedet som ble

pakket, har høyere middeltemperaturer (ukebasis) i de øverste 24 cm sammenlignet med såbed som ble tromlet. Ingen behandling etter såing gir de laveste verdiene for ukemidler uansett dybde. Dette siste er også tilfelle for 1984 (fig. 21) med unntak av første halvdel av mai. I denne perioden er upakket såbed varmere både i 2, 6 og 24 cm dybde sammenlignet med tromlet og pakket såbed. Fra ca 20.05.84 er upakket såbed kaldere i 24 cm dybde enn de to andre behandlingene. Generelt er utslagene mindre i 1984 enn i 1983, og tromling har i flere perioder gitt varmere såbed enn pakking i 1984. Heving av jordtemperaturen beregnet som ukemiddel i vekstsesongen må bety større akkumulering av varme når jorda pakkes eller tromles sammenlignet med upakket jord.

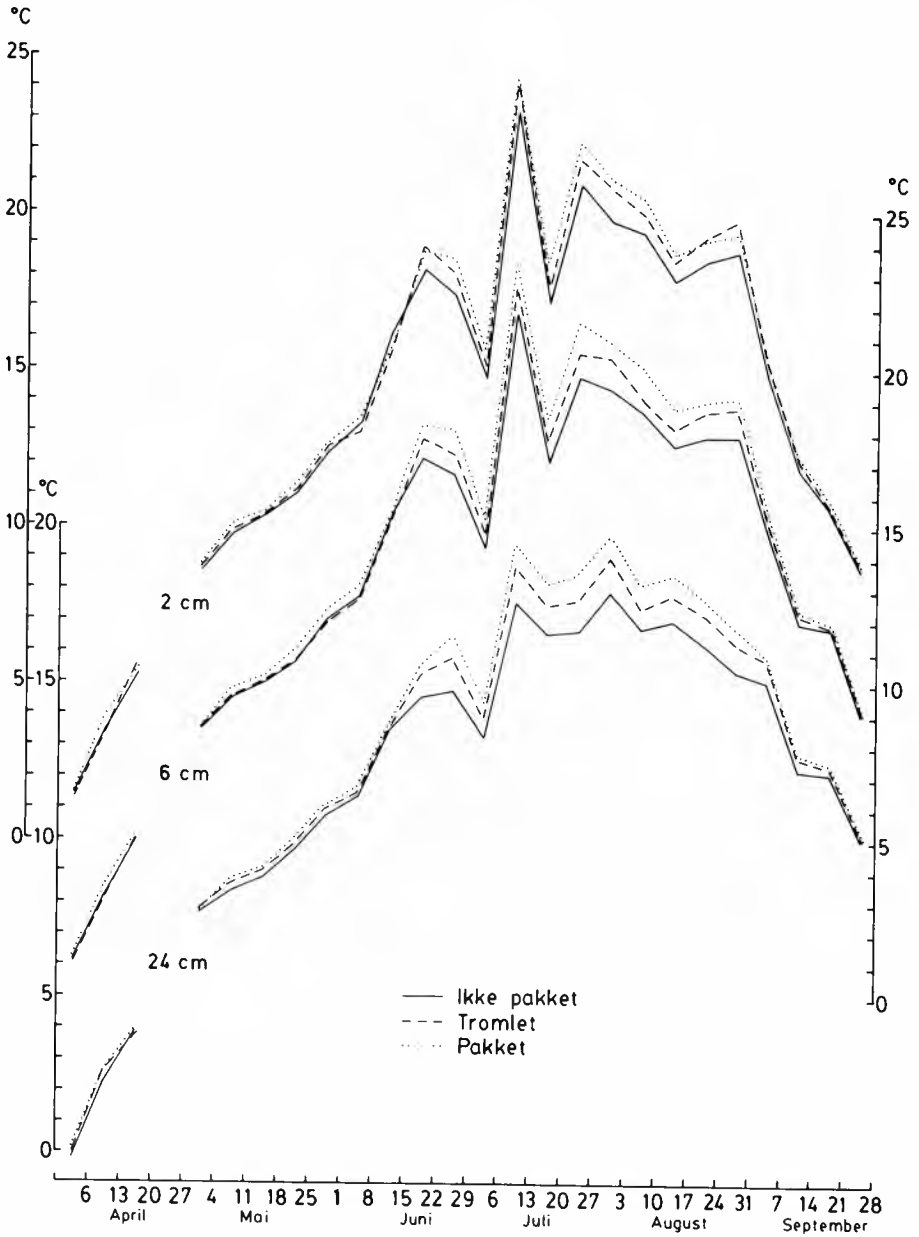
Når såbedet dekkes med halm senkes middeltemperaturen i jorda sammenlignet med bar jord (fig. 22). Tidlig i vekstsesongen er differansen henholdsvis 2.5, 1.5 og 1.0°C i dybdene 2, 6 og 24 cm. Denne forskjellen utjevnes utover i vekstsesongen og fra ca 01.09. er det liten forskjell på temperaturkurvene for ukemiddel i jord med og uten halmdekke.



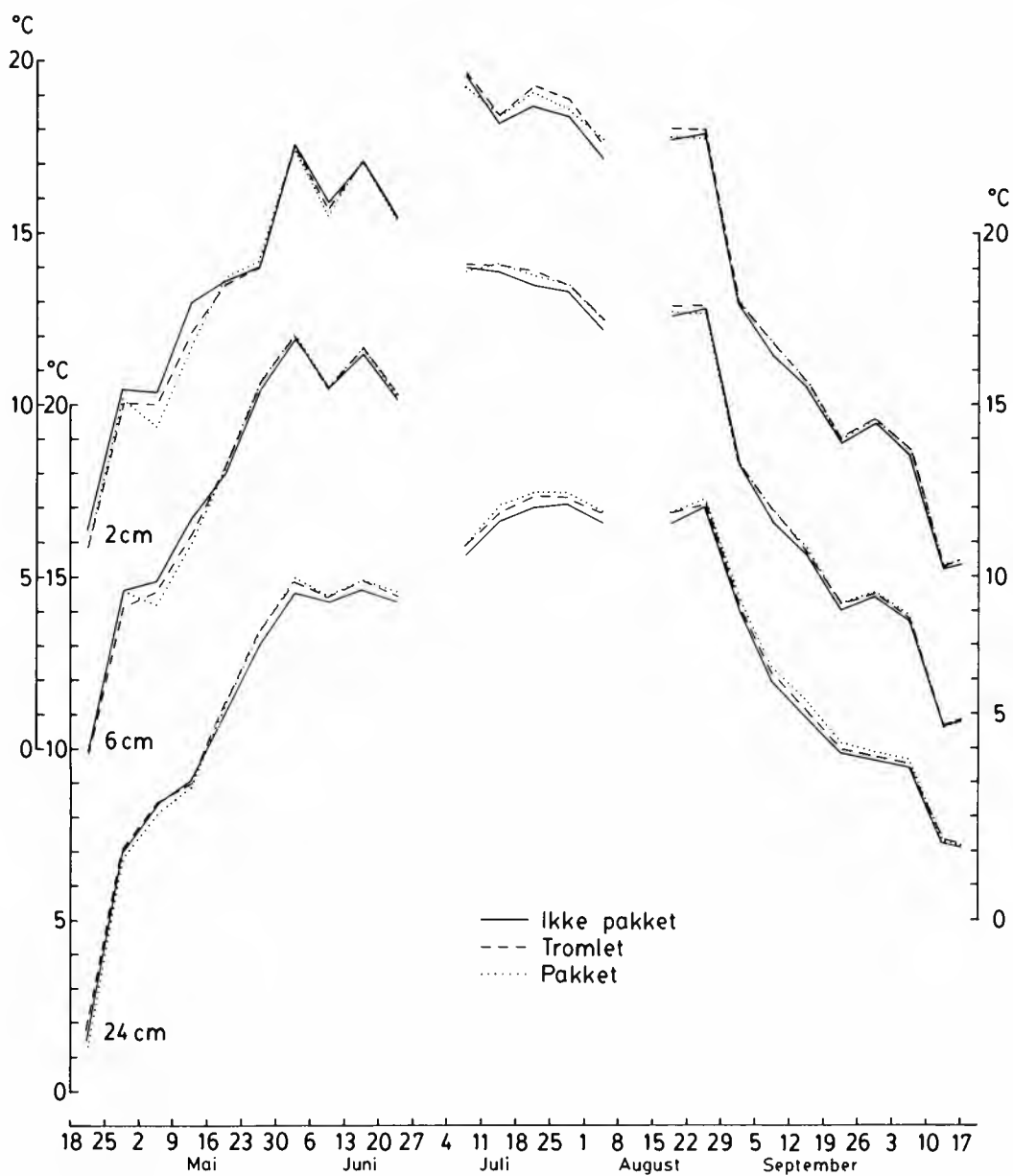
Figur 18. Ukemidler av jordtemperatur (°C) for vekstsesongen 1983 for ulike jordarbeidingsystemer uten pakking.



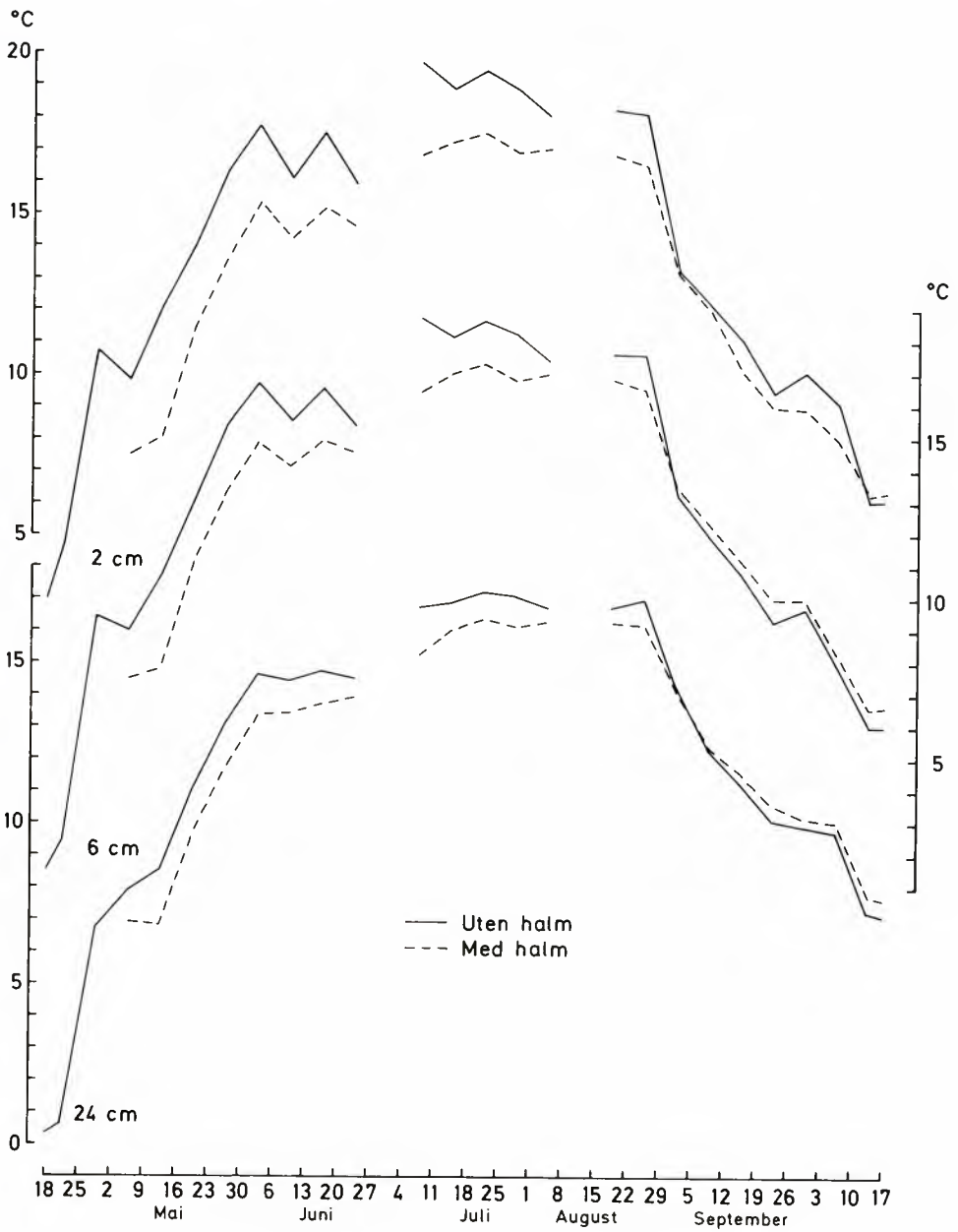
Figur 19. Ukemidler av jordtemperatur (°C) for vekstsesongen 1984 for ulike jordarbeidingssystemer uten pakking.



Figur 20. Ukemidler av jordtemperatur (°C) for vekstsesongen 1983 for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing.



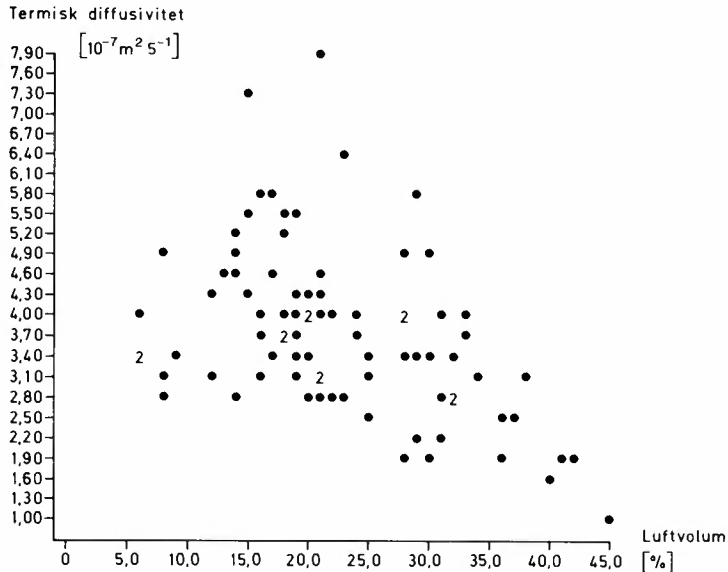
Figur 21. Ukemidler av jordtemperatur ($^{\circ}\text{C}$) for vekstsesongen 1984 for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing.



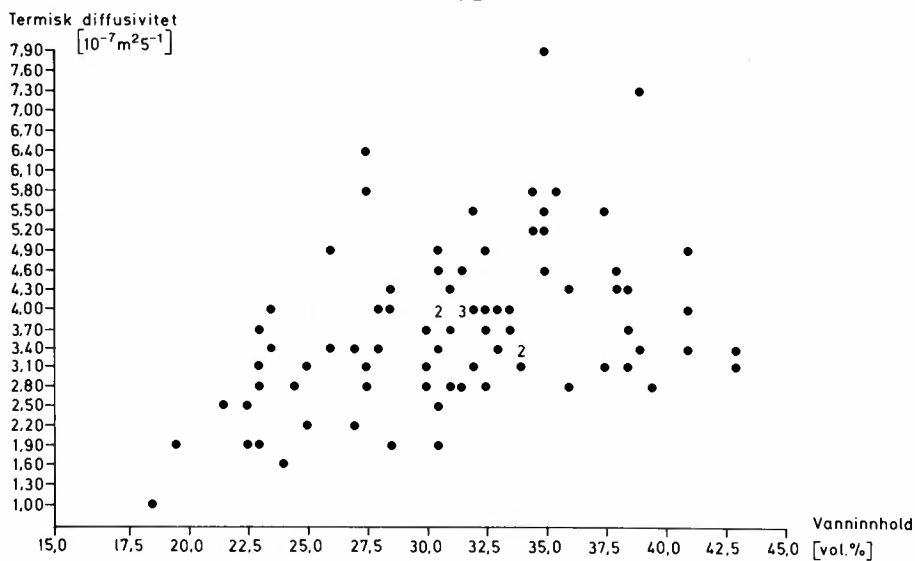
Figur 22. Ukemidler av jordtemperatur (°C) for vekstsesongen 1984 for direktesådd jord med og uten halmdekke.

4.1.4. Termisk diffusivitet

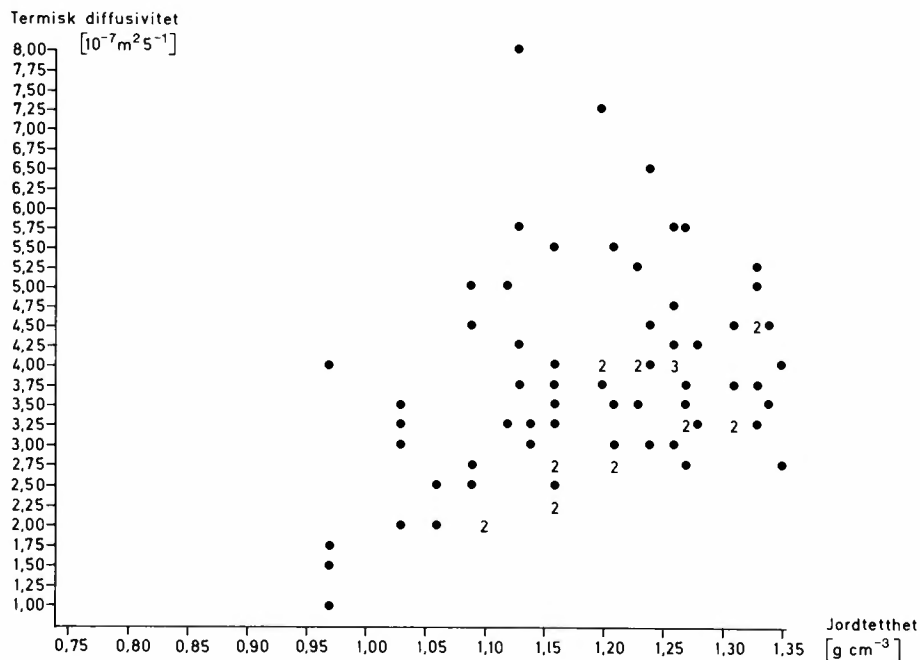
Jordas termiske diffusivitet eller temperaturlledningsevne avhenger blant annet av jordas luft-, vanninnhold og tetthet. Disse tre faktorene endres ved jordarbeiding, pakking o.l. Hvordan disse faktorene har påvirket den termiske diffusiviteten i dette forsøket, gir figurene 23, 24 og 25 en viss forklaring på. I figur 23 er termisk diffusivitet plottet mot luftvolum i jorda. Det er stor spredning i materialet, men figuren viser at ved økende luftvolum avtar jordas termiske diffusivitet. For vanninnholdet (fig. 24) er forholdet motsatt, økende vanninnhold gir økt termisk diffusivitet. I begge disse figurene er det en svak tendens til at den termiske diffusiviteten avtar når vanninnholdet øker over en viss verdi og når luftinnholdet synker under en viss verdi. Jordtetthet og termisk diffusivitet er vist i figur 25. Selv med stor spredning skulle tendensen være klar, økt jordtetthet gir økt termisk diffusivitet.



Figur 23. Forholdet mellom termisk diffusivitet og luftvolum i jorda (resultater fra 1983 og 1984).



Figur 24. Forholdet mellom termisk diffusivitet og vanninnhold i jorda (resultater fra 1983 og 1984).



Figur 25. Forholdet mellom termisk diffusivitet og tetthet i jorda (resultater fra 1983 og 1984).

Både volumetrisk varmekapasitet og varmeledningsevne øker med økende vanninnhold i jorda. Den volumetriske varmekapasiteten i jorda øker lineært med stigende vanninnhold. Varmeledningsevnen har størst økning når vanninnholdet er fra 40% til 80% av porevolumet. Dette betyr at den termiske diffusiviteten endrer seg mindre med endringer i vanninnholdet enn den volumetriske varmekapasiteten og varmeledningsevnen (KOHNE, 1968).

Tabell 6 viser termisk diffusivitet beregnet som beskrevet i pkt 3.6.1 for de ulike behandlingene ved 4 ulike tidspunkt.

Tabell 6. Termisk diffusivitet for alle behandlinger ved fire ulike tidspunkt ($10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

Dybde cm	Dato	UPAKKET			TROMLET	PAKKET		
		Konv'	Red''	Dir'''	Konv	Konv	Red	Dir
Uten halmdekke								
2- 6	06.06.83	2.2	2.0	3.1	2.6	3.4	2.8	4.5
2- 6	16.06.83	2.6	2.1	3.5	2.8	5.1	3.4	6.7
2- 6	10.05.84	2.1	1.2	2.4	2.9	4.0	2.6	4.2
2- 6	28.06.84	3.4	1.6	2.3	3.4	4.3	2.9	3.9
6-24	06.06.83	3.5	3.3	3.0	3.5	3.2	3.5	4.2
6-24	16.06.83	4.7	3.4	4.2	5.0	4.0	4.5	5.6
6-24	10.05.84	3.0	3.1	3.4	4.0	3.6	3.9	3.4
6-24	28.06.84	3.6	4.2	3.9	4.8	4.2	4.6	3.9
Med halmdekke								
2- 6	10.05.84	3.1	2.0	3.6	4.2	5.8	5.1	4.0
2- 6	28.06.84	3.5	4.2	4.0	5.6	8.2	4.6	7.4
6-24	10.05.84	3.2	4.2	3.4	3.0	4.1	5.3	3.7
6-24	28.06.84	5.5	6.0	4.6	4.3	5.3	5.1	5.8

' . Konv: Konvensjonell jordarbeiding

'' . Red : Redusert jordarbeiding

''' . Dir : Direktesåing

I tabell 7, 8 og 9 er middelveiene for termisk diffusivitet for de fire tidspunktene i tabell 6 beregnet.

Tabell 7. Termisk diffusivitet for ulike jordarbeidingssystem og ulik pakking ($10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

Dybde	Pakking	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%
2-6 cm	Upakket	2.6	1.7	2.8	2.4		
	Pakket	4.2	2.9	4.8	4.0		
	m	3.4	2.3	3.8		*	0.9
	sn				**	Xis ¹⁾	
	LSD-5%				0.9		- ₂₎
6-24 cm	Upakket	3.7	3.7	3.6	3.7		
	Pakket	3.7	4.1	4.3	4.1		
	m	3.7	3.9	4.0		is	-
	sn				**	Xis	
	LSD-5%				0.1		-

m : middel over behandlinger

X : samspill

sn : signifikansnivå

* : signifikansnivå = 5%

** : signifikansnivå = 1%

*** : signifikansnivå = 0,1 %

is : ikke signifikant

LSD-5%: minste signifikante forskjell på 5% nivå

1) signifikansnivå for samspill

2) LSD-5% verdi for samspill

Den termiske diffusiviteten i sjiktet 2-6 cm var påvirket av det jordarbeidingssystem som ble brukt. Leddet med redusert jordarbeiding har signifikant mindre termisk diffusivitet enn de to andre hovedjordarbeidingene. Det kan skyldes at såbedet besto av relativt store aggregater på leddet med redusert

jordarbeiding. Det ble ikke foretatt målinger av aggregatstørrelsesfordelingen i såbedet. Ved konvensjonell jordarbeiding ble såbedet sloddet og harvet (2 ganger) og såbedet besto av vesentlig finere aggregater sammenlignet med redusert jordarbeiding. I dybden 6-24 cm er det ikke signifikant forskjell mellom jordarbeidingsystemene. POTTER et al. (1985) bestemte termisk diffusivitet i sjiktet 2.5-15 cm i noen jordarbeidingsforsøk. Verdiene varierte fra forsøk til forsøk fra 3.2, 3.2 og 4.7 til 5.1, 4.5 og 6.9 $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for henholdsvis konvensjonell, redusert jordarbeiding og direktesåing. Termisk diffusivitet var dermed høyere i disse forsøkene sammenlignet med hva som ble funnet i dette materialet. HAY et al. (1978) rapporterer enda høyere verdier for termisk diffusivitet i sjiktet 5-20 cm, 6.4 og 10.4 $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ for henholdsvis pløyd og direktesådd jord. Både CARTER & RENNIE (1985) og JOHNSON & LOWERY (1985) fant verdier for termisk diffusivitet i området 4-7 $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. I alle disse forsøkene har direktesåing gitt høyest termisk diffusivitet. Det er ikke så stor forskjell på konvensjonell og redusert jordarbeiding. I noen av forsøkene er termisk diffusivitet for redusert jordarbeiding lavere enn for konvensjonell jordarbeiding. Denne effekten av redusert jordarbeiding var tydelig i dette materialet.

Pakking har ført til større termisk diffusivitet både i 2-6 cm og 6-24 cm dybde. Forskjellen for termisk diffusivitet mellom upakket og pakket er størst i sjiktet 2-6 cm. Den termiske diffusiviteten har økt med 60-70% når jorda ble pakket med traktor, uansett jordarbeiding i dette sjiktet. Virkningen er betydelig mindre i sjiktet 6-24 cm. Både luftinnhold, vanninnhold og jordtetthet viser små forskjeller i 6-24 cm mens i laget 2-6 cm er utslaget av pakking høyere jordtetthet, høyere vanninnhold og lavere luftinnhold (vedlegg 5, 6 og 7).

I tillegg til "ikke pakking" og "pakking" var det av interesse å undersøke hvordan tromling påvirket den termiske diffusiviteten i plogsjiktet. Tabell 8 viser termisk diffusivitet i pløyd jord med ulik tilpakking etter såing. I sjiktet 2-6 cm er den termiske diffusiviteten signifikant større for det leddet som er pakket, sammenlignet med upakket og tromlet. Tromling har økt termisk diffusivitet i sjiktet 2-6 cm sammenlignet med upakket, men forskjellen er ikke signifikant. I dette sjiktet øker vanninnholdet fra upakket til pakket mens luftvolumet avtar. I sjiktet 6-24 cm er vanninnholdet nærmest konstant og luftinnholdet er bare litt lavere på leddet med pakking enn på de to andre behandlingene. Jordtettheten viser også at pakkingen har gitt utslag i overflaten, mens i dybden 6-24 cm er det faktisk det tromlete leddet som har størst jordtetthet (vedlegg 5). Dette er nok årsaken til den høyere termiske diffusivitet for dette leddet sammenlignet med de to andre behandlingene.

Tabell 8. Termisk diffusivitet for konvensjonell jordarbeiding med ulik behandling av såbedet etter såing ($10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

Dybde	Upakket	Tromlet	Pakket	sn	LSD-5%
2- 6 cm	2.6	2.9	4.2	**	0.7
6-24 cm	3.7	4.3	3.7	is	-

Halmmengden på overflata vil variere for de ulike jordarbeidingssystemene og om halmen brennes, fjernes eller kuttes. Et halmlag på overflaten vil påvirke overflatas albedo og dermed netto innstråling. Halmdekking har også påvirket jordas termiske diffusivitet (tabell 9). Normalt vil jorda under et

Tabell 9. Termisk diffusivitet for de ulike behandlinger med og uten halm på overflata ($10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)

Dybde cm	Halm	Upakket			Tromlet	Pakket			m	sn	LSD-5%
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir			
2-6	Uten	2.8	1.4	2.3	3.2	4.1	2.7	4.0	2.9		
	Med	3.3	3.1	3.8	4.9	7.0	4.9	5.7	4.7		
	m	3.0	2.2	3.1	4.0	5.6	3.8	4.9		**	0.7
	sn									**	Xis
	LSD-5%									0.8	-
6-24	Uten	3.3	3.6	3.7	4.4	3.9	4.3	3.6	3.8		
	Med	4.4	5.1	4.0	3.7	4.7	5.2	4.8	4.5		
	m	3.8	4.4	3.9	4.1	4.3	4.7	4.2		is	-
	sn									*	Xis
	LSD-5%									0.5	-

halmdekke holde bedre på fuktigheten. Dette påvirker den termiske diffusiviteten. Tabell 9 viser termisk diffusivitet for alle behandlinger med og uten halm for målinger gjort i 1984. Jordas termiske diffusivitet er signifikant større under halmdekke sammenlignet med bar jord. Dette gjelder for både sjiktet 2-6 cm og sjiktet 6-24 cm.

Å trekke sammenligninger mellom ulike jordarbeidingsystemer med og uten halmdekke på overflata er ikke alltid realistisk. I praksis vil et konvensjonelt såbed være uten halmrester på overflata, mens etter direktesåing er overflata mer eller mindre dekket med halm, avhengig av halmbehandlingen. Det er derfor ikke urealistisk å sammenligne målingene for konvensjonell jordarbeiding uten halm med målingene for direkte-såing med halm. Tabell 9 viser at direktesåing med halm har klart høyere termisk diffusivitet enn konvensjonell jordarbeiding uten halm både i 2-6 cm og 6-24 cm dybde. Dette er nok noe av årsaken til at HAY et al. (1978), CARTER & RENNIE

(1985), JOHNSON & LOWERY (1985) og POTTER et al. (1985) har funnet så klare forskjeller for termisk diffusivitet for de ulike jordarbeidingssystemene.

I sjiktet 2-6 cm er forskjellen mellom behandlingen signifikant i 1984 (tabell 9). I 6-24 cm dybde er det ikke signifikant forskjell mellom behandlingene (jordarbeiding * pakking) eller for samspillet mellom behandlingen (jordarbeiding x pakking) og halm.

4.1.5. Volumetrisk varmekapasitet

Volumetrisk varmekapasitet er beregnet som forklart i pkt. 3.6.1. Resultatene for de ulike tidspunktene er vist i tabell 10. Andelen av luft, vann, fast- og organisk materiale ble bestemt i jord uttatt i stålsylindre som beskrevet i pkt. 3.5.4. Disse verdiene finnes i vedlegg 4, 5, 6 og 7. I tabellene 11, 12 og 13 er middelveidene over de 4 tidspunktene for volumetrisk varmekapasitet beregnet.

Tabell 10. Volumetrisk varmekapasitet for alle behandlinger ved fire ulike tidspunkt ($\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$)

Dybde cm	Dato	Upakket			Tromlet	Pakket		
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir
Uten halm								
2- 6	06.06.83	2.0	2.1	2.3	2.2	2.5	2.5	2.6
2- 6	16.06.83	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2
2- 6	10.05.84	1.7	1.5	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9
2- 6	28.06.84	1.8	1.7	2.0	2.0	2.1	2.0	2.2
6-24	06.06.83	2.9	2.6	2.7	2.8	2.8	2.7	2.8
6-24	16.06.83	2.5	2.3	2.4	2.5	2.3	2.3	2.4
6-24	10.05.84	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.2
6-24	28.06.84	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4
Med halmdekke								
2- 6	10.05.84	1.9	1.7	2.0	2.1	2.0	2.1	2.2
2- 6	28.06.84	2.2	2.0	2.5	2.5	2.4	2.4	2.6
6-24	10.05.84	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.5	2.4
6-24	28.06.84	2.4	2.4	2.6	2.6	2.4	2.8	2.5

Tabell 11 viser volumetrisk varmekapasitet for de ulike jordarbeidingssystemene med og uten pakking. I sjikt 1 fra 2-6 cm har direktesåing ført til økning i volumetrisk varmekapasitet. Det er ingen forskjell på konvensjonell og redusert jordarbeiding i dette sjiktet. Pakking har gitt høyere volumetrisk varmekapasitet for alle jordarbeidings-system. Økningen i volumetrisk varmekapasitet skyldes redusert porevolum, lavere luftvolum og høyere vanninnhold på den direktesådde jorda. De samme forhold gjør seg også gjeldende ved pakking av jorda.

I sjikt 2, 6-24 cm er det ingen signifikant forskjell for

volumetrisk varmekapasitet ved de ulike behandlinger. Den volumetriske varmekapasiteten i sjikt 2 er høyere enn i sjikt 1.

Tabell 11. Volumetrisk varmekapasitet for ulike jordarbeidingsystemer og ulik pakking ($\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$)

Dybde	Pakking	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%
2-6 cm	Upakket	1.81	1.79	2.03	1.88		
	Pakket	2.10	2.10	2.22	2.14		
	m	1.95	1.94	2.13		**	0.09
	sn					**	Xis
	LSD-5%				0.15		-
6-24cm	Upakket	2.44	2.38	2.44	2.42		
	Pakket	2.45	2.43	2.46	2.45		
	m	2.44	2.41	2.45		is	-
	sn					is	Xis
	LSD-5%				-		-

For dybden 2.5-15 cm fant POTTER et al. (1985) volumetrisk varmekapasitet for konvensjonell jordarbeiding og direkte-såing til å være henholdsvis 2.32 og 2.34 $\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$ i middel over fire forsøk. I dette tilfelle var det liten forskjell i vanninnholdet i jorda mellom de ulike behandlingene. JOHNSON & LOWERY (1985) oppgir volumetrisk varmekapasitet for de samme behandlingene til 2.18 og 2.62 $\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$ for sjiktet 0-15 cm. I dette tilfelle har mengden av planterester på overflata bevirket at direktesådd jord var fuktigere enn pløyd jord. Hvis en sammenligner direktesåing med halmdekke og konvensjonell jordarbeiding uten halmdekke (tabell 13), er verdiene for konvensjonell jordarbeiding uten halm 1.84 og 2.26 $\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$ i sjiktene 2-6 og 6-24 cm og for direktesåing med halmdekke 2.33 og 2.49 $\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$ i de samme dybdene (middel for upakket og pakket såbed).

Tromling og pakking av såbedet etter såing har økt den volumetriske varmekapasiteten i sjiktet 2-6 cm (tabell 12). Forklaringen er lavere porevolum og høyere vanninnhold etter disse behandlingene enn uten noen form for etterbehandling av såbedet (vedlegg 6 og 7). I sjikt 2, 6-24 er det ingen sikre forskjeller.

Tabell 12. Volumetrisk varmekapasitet for konvensjonell jordarbeiding med ulik behandling av såbedet etter såing ($\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$)

Dybde	Upakket	Tromlet	Pakket	sn	LSD-5%
2- 6 cm	1.81	1.99	2.10	**	0.13
6-24 cm	2.44	2.48	2.45	is	-

Tabell 13. Volumetrisk varmekapasitet for de ulike behandlinger med og uten halm på overflata ($\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$)

Dybde	Halm	Upakket			Tromlet			Pakket			LSD-5%
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir	m	sn	
2-6	Uten	1.71	1.63	1.98	1.95	1.97	1.89	2.06	1.88		
	Med	2.05	1.86	2.27	2.27	2.20	2.28	2.39	2.19		
	m	1.88	1.74	2.13	2.11	2.08	2.09	2.22		***	0.09
	is									***	Xis
	LSD-5%									0.10	-
6-24	Uten	2.20	2.30	2.30	2.32	2.33	2.39	2.32	2.31		
	Med	2.36	2.36	2.52	2.38	2.40	2.63	2.46	2.44		
	m	2.28	2.33	2.41	2.35	2.37	2.51	2.39		*	0.09
	sn									*	Xis
	LSD-5%									0.10	-

Dekking av overflata med halm reduserer fordampningen fra jorda. Resultatet er et høyere vanninnhold og dermed økt volumetrisk varmekapasitet, som vist i tabell 13. Det er

signifikant utslag for halmdekke uansett jordbehandling. Utslaget er mest tydelig i sjiktet 2-6 cm. Mellom behandlingene er forholdene stort sett de samme med eller uten halmdekke.

4.1.6. Varmeledningsevne

Jordas varmeledningsevne er beregnet som beskrevet i pkt. 3.6.1. I tabell 14 er varmeledningsevne for de 4 tidspunktene og de ulike behandlingene ført opp. Tabellene 15, 16 og 17 viser middelerverdiene for varmeledningsevnen over disse 4 tidspunktene for de ulike behandlingene.

Tabell 14. Varmeledningsevne for alle behandlinger ved fire ulike tidspunkt ($10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

Sjikt cm	Dato	Upakket			Tromlet	Pakket		
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir
Uten halm								
2- 6	06.06.83	4.4	4.2	6.9	5.6	8.3	7.1	11.9
2- 6	16.06.83	4.5	3.7	6.6	5.3	10.3	7.0	14.4
2- 6	10.05.84	3.4	1.8	4.6	5.5	7.4	4.6	8.0
2- 6	28.06.84	5.9	2.8	4.6	5.8	8.8	5.7	8.5
6-24	06.06.83	10.1	8.7	8.1	9.8	8.8	9.3	11.8
6-24	28.06.83	11.7	10.1	10.2	12.2	9.3	11.3	13.6
6-24	10.05.84	6.7	7.1	7.8	9.4	8.5	9.4	7.5
6-24	28.06.84	7.7	9.6	9.1	9.5	9.6	11.0	9.4
Med halm								
2- 6	10.05.84	6.0	3.4	7.3	8.8	11.9	10.9	8.9
2- 6	28.06.84	7.6	8.5	9.9	13.7	19.3	12.8	19.0
6-24	10.05.84	7.4	9.7	8.3	6.7	9.8	11.4	9.0
6-24	28.06.84	13.4	14.5	12.0	10.9	13.0	14.0	14.0

Redusert jordarbeiding har signifikant lavere varmeledningsevne i sjiktet 2-6 cm enn både direktesåing og konvensjonell jordarbeiding (tabell 15). Direktesåing har høyest varmeledningsevne i sjiktet 2-6 cm av de tre jordarbeidings-systemene. I sjiktet 6-24 cm er det ingen sikre utslag for jordarbeidingsystem.

POTTER et al. (1985) målte jordas varmeledningsevne i sjiktet 2.5-15 cm ved konvensjonell jordarbeiding og direktesåing til henholdsvis 1.17 og 1.39 $W m^{-1} K^{-1}$. Disse verdiene for jordas varmeledningsevne er høyere enn det som er beregnet i dette forsøket. Både vanninnholdet i jorda og dybden det er målt i, må taes med i vurderingen av resultatene.

Tabell 15. Varmeledningsevne for ulike jordarbeidingsystem og ulik pakking ($10^{-1} W m^{-1} K^{-1}$)

Dybde	Pakking	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%
2- 6 cm	Upakket	4.6	3.1	5.7	4.5		
	Pakket	8.7	6.1	11.0	8.5		
	m	6.6	4.6	8.2		**	1.7
	sn					**	Xis
	LSD-5%				1.7		-
6-24 cm	Upakket	9.0	8.9	8.8	8.9		
	Pakket	9.1	10.2	10.6	10.0		
	m	9.1	9.6	9.7		is	-
	sn					**	Xis
	LSD-5%				0.4		-

Pakking av jorda har resultert i økt varmeledningsevne for alle jordarbeidingsledd (tabell 15). I sjiktet 2-6 cm er økningen 90-100% sammenlignet med ikke pakking. Dypere ned, i sjiktet 6-24 cm, er økningen langt mindre, men pakking har i

middel gitt statistisk sikker økning av varmeledningsevnen. I dette sjiktet skiller konvensjonell jordarbeiding seg ut ved at det er liten forskjell på upakket og pakket jord. Det tyder på at pakkingsvirkningen ikke har forplantet seg så dypt nedover. For konvensjonell jordarbeiding er det ikke akkumulert pakkingsvirkning fra tidligere år pga pløying til ca 20 cm dybde hvert år.

Etter såing er det vanlig å tromle såbedet. Det er flere grunner til dette, forsøket her viser at varmeledningsevnen i sjiktet 2-6 cm øker når en tromler eller pakker såbedet (tabell 16). Under dette sjiktet, og ned til 24 cm, påvirkes ikke varmeledningsevnen. I realiteten vil dette gi et varmere sjikt ved ca 6-10 cm dybde for jord som pakkes eller tromles etter såing.

Tabell 16. Varmeledningsevne for konvensjonell jordarbeiding med ulik behandling av såbedet etter såing ($10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

Sjikt	Upakket	Tromlet	Pakket	sn	LSD-5%
2 - 6 cm	4.6	5.8	8.7	**	1.4
6 - 24 cm	9.0	10.2	9.1	is	-

Halmdekking av såbedets overflate gir økt varmeledningsevne uansett jordarbeidings- og pakkingsbehandling (tabell 17). Dette er tilfelle i sjiktet 2-6 cm og 6-24 cm. Det er nærliggende å se dette i sammenheng med økt vanninnhold i jorda under et halmdekke sammenlignet med bar jord. Selv om et halmdekke har økt varmeledningsevnen i jorda fra 2-24 cm, er ikke den totale varmemengde som er tilført dette sjiktet, så stor som for ei bar overflate. Dette skyldes at halmen reflekterer mer stråling sammenlignet med ei rein jordoverflate.

Tabell 17. Varmeledningsevne for de ulike behandlinger med og uten halm på overflata ($10^{-1} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

Dybde cm	Halm	Upakket			Tromlet	Pakket			m	sn	LSD-5%
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir			
2- 6	Uten	4.7	2.3	4.6	6.2	8.1	5.2	8.3	5.6		
	Med	6.8	5.9	8.6	11.2	15.6	11.9	13.9	10.6		
	m	5.7	4.1	6.6	8.7	11.9	8.5	11.1		**	2.6
	sn									**	Xis
	LSD-5%									2.2	-
6-24	Uten	7.2	8.4	8.5	9.5	9.1	10.2	8.5	8.7		
	Med	10.4	12.1	10.2	8.8	11.4	12.7	11.7	11.0		
	m	8.8	10.2	9.3	9.1	10.2	11.5	10.1		*	1.3
	sn									**	Xis
	LSD-5%									1.4	-

De ulike behandlingene, jordarbeiding og pakking viser samme utslag som tidligere (tabell 17). Pakking øker varmeledningsevnen og direktesåing gir høyere varmeledningsevne enn de andre jordarbeidingssystemene.

Resultatene for varmeledningsevnen viser at den jordbehandling som pakker jorda mest og som etterlater mest planterester på overflata har størst varmeledningsevne. Årsaken til dette er økt jordtetthet og økt vanninnhold i jorda. Det er tydelig størst utslag for behandlingene i øverste del (2-6 cm) av såbedet, mens virkningene avtar videre nedover i jorda (6-24 cm).

4.1.7. Midlere jordtemperatur for 5-dagers perioder

Midlere jordtemperatur er beregnet for alle 5-dagers perioder i mai 1983 og mai 1984. I tabell 18, 19 og 20 er midlene for disse 5-dagers periodene ført opp for de ulike behandlingene. Disse verdiene er dermed de samme som middeltemperaturen over 2 år for perioden mai. Ved denne beregningsmåten tapes informasjon om forskjellene i middeltemperatur er de samme tidlig og seint i perioden mellom de ulike jordbehandlingene. De grafiske framstillingene av døgn- og ukemiddel i pkt 4.1.2 og 4.1.3 gir opplysninger om dette.

Det er små differanser mellom behandlingene, jordarbeiding og pakking, når det gjelder middeltemperaturen over 5-dagers perioder (tabell 18). Forskjellene er imidlertid signifikante både for jordarbeiding og pakking i de tre dybdene med unntak av for pakking i 2 cm dybde. Det mest vesentlige er at pakket jord har høyere middeltemperatur i både 6 og 24 cm dybde sammenlignet med upakket jord. Denne effekten er tydelig både for redusert jordarbeiding og direktesåing, men for konvensjonell jordarbeiding er utslaget ubetydelig. Dette samspillet kan være utslag av at jord som pakkes, men ikke pløyes hvert år, har høyere varmeledningsevne og varmekapasitet enn jord som pløyes. Den upløyde jorda akkumulerer dermed mer varme enn den pløye.

Av jordarbeidingssystemene er det redusert jordarbeiding som har høyest middeltemperatur i mai. Når jorda ikke dekkes med halm har flere forsøk vist at direktesåing har gitt høyere middeltemperaturer enn konvensjonell jordarbeiding (GAUER et al., 1982; KETCHESON et al., 1982; WALL & STOBBE, 1984).

Tabell 18. Middeltemperatur i tre dybder i mai for ulike jordarbeidingsystem og ulik pakking (°C)

Dybde	Pakking	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%
2 cm	Upakket	12.0	12.1	11.9	12.0		
	Pakke	11.9	12.4	12.0	12.1		
	m	11.9	12.2	12.0		***	0.1
	sn				is	X*	
	LSD-5%				-		0.2
6 cm	Upakket	11.5	11.6	11.2	11.4		
	Pakket	11.5	11.9	11.7	11.7		
	m	11.5	11.7	11.5		***	0.1
	sn				***	X**	
	LSD-5%				0.1		0.2
24 cm	Upakket	9.9	10.2	9.7	9.9		
	Pakket	10.0	10.5	10.3	10.3		
	m	10.0	10.3	10.0		***	0.1
	sn				***	X*	
	LSD-5%				0.1		0.2

Ulik behandling av såbedet etter såing har ikke gitt signifikante utslag i middeltemperaturen for 5-dagers perioder i mai (tabell 19). Tendensen er at pakking og tromling senker temperaturen i 2 cm dybde og hever temperaturen i 24 cm dybde i middel over mai.

Tabell 19. Middeltemperatur i tre dybder i mai for konvensjonell jordarbeiding med ulik behandling av såbedet etter såing (°C)

Dybde	Upakket	Tromlet	Pakket	sn	LSD-5%
2 cm	12.0	11.9	11.9	is	-
6 cm	11.5	11.4	11.5	is	-
24 cm	9.9	10.1	10.0	is	-

Virkingen på middeltemperaturen i jorda av jordarbeiding og pakking var liten i perioden "mai". Halmrester på overflata betyr derimot en senking av middeltemperaturen for mai 1984 med henholdsvis 2.5, 2.1 og 1.4 °C i dybdene 2, 6 og 24 cm (tabell 20). Senkingen av middeltemperaturene er signifikant for de 3 dybdene. Et halmdekke øker jordas vanninnhold og dermed varmeledningsevne og varmekapasitet. Halmen reflekterer dessuten mer av solstrålingen enn bar jord.

UNGER (1978) fant at en halmmengde på 8 tonn pr ha senket jordtemperaturen i 10 cm dybde 2.3°C om våren og 2.9°C om sommeren. WILLIS et al. (1957) rapporterer om 2°C reduksjon i temperaturen i 10 cm dybde når jorda var dekket med halm. BURROWS & LARSON (1962) viste en temperatursenking etter dekking av jorda med maisstengler på 4-5°C i sjiktet 0-5 cm.

Flere andre forsøk (GRIFFITH et al., 1973; GAUER et al., 1982; JOHNSON & LOWERY, 1985) viser at det er planterestene på overflata som betyr mest for midlere jordtemperatur i de tilfelle det er funnet senking av døgnmiddeltemperaturen ved direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding.

Tabell 20. Middeltemperatur i tre dybder i mai 1984, med og uten halm på overflata (°C)

Dybde cm	Halm	Upakket			Tromlet	Pakket						
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%	
2	Uten	13.3	13.2	13.0	12.8	13.5	13.1	13.1	13.1			
	Med	10.5	10.6	10.3	10.6	10.4	11.3	10.6	10.6			
	m	11.9	11.9	11.7	11.8	11.6	12.4	11.9		***	0.1	
	sn									***	Xis	
	LSD-5%									0.2	-	
6	Uten	12.6	12.4	12.1	12.5	12.4	12.9	12.8	12.5			
	Med	10.5	10.3	10.1	10.4	10.3	11.1	10.4	10.4			
	m	11.5	11.4	11.1	11.5	11.3	12.0	11.16		***	0.1	
	sn									***	Xis	
	LSD-5%									0.2	-	
24	Uten	10.6	10.6	10.1	10.8	10.6	11.1	10.8	10.7			
	Med	9.1	9.4	8.9	9.2	9.2	9.9	9.5	9.3			
	m	9.9	10.9	9.5	10.0	9.9	10.5	10.1		***	0.2	
	sn									***	Xis	
	LSD-5%									0.2	-	

4.1.8. Midlere maksimumstemperatur for 5-dagers perioder

Utslagene av ulik jordarbeiding er større for maksimumstemperatur enn for middeltemperatur. Verdiene i tabell 21 som viser midlere maksimumstemperatur for mai 1983 og 1984, er kommet fram ved å dele inn mai i 5-dagers perioder. I overflata, 2 cm dybde, har pakking ført til senking av maksimumstemperaturen, mens ved 24 cm dybde har samme behandling gitt økte maksimumsverdier uansett jordarbeiding. Direktesåing har gitt senking av maksimumstemperaturen i både 2 og 6 cm dybde med henholdsvis 1.1°C og 0.5°C sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding.

Tabell 21. Midlere maksimumstemperatur i tre dybder i mai for ulike jordarbeiding og ulike pakking (°C)

Dybde	Pakking	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%
2 cm	Upakket	18.7	18.8	17.0	18.2		
	Pakket	17.4	18.1	17.0	17.5		
	m	18.1	18.5	17.0		***	0.4
	sn					***	X**
	LSD-5%				0.3		0.4
6 cm	Upakket	15.2	14.8	14.2	14.7		
	Pakket	14.9	15.1	15.0	15.0		
	m	15.1	14.9	14.6		**	0.3
	sn					**	X***
	LSD-5%				0.2		0.4
24 cm	Upakket	10.4	10.6	10.3	10.4		
	Pakket	10.6	11.0	10.8	10.8		
	m	10.5	10.8	10.5		***	0.2
	sn					***	X***
	LSD-5%				0.1		0.2

Reduksjon av jordtemperaturens maksimumsverdier i 2 cm dybde pga pakking er størst for konvensjonell jordarbeiding (tabell 21). For direktesåing har ikke pakkinga betydd noe for maksimumstemperaturen i denne dybden. Nedover i profilet er midlere maksimumstemperatur høyere for direktesåing enn for konvensjonell jordarbeiding når jorda er pakket. Dette tyder på at pakkingsvirkningen på jorda ikke går så dypt ved konvensjonell jordarbeiding som ved direktesåing. Ved direktesåing vil virkningen av pakking fra tidligere år være større i sjiktet 6-24 cm enn ved årlig pløying. I overflata derimot er konvensjonell jordarbeiding mest påvirket av pakking.

Et såbed som ligger urørt etter såing har høyere maksimumstemperaturer i 2 cm dybde enn om det tromles eller pakkes (tabell 22). Ved 6 cm dybde er forskjellen redusert og differansene er ikke lenger signifikante. Lengre ned i profilet, ved 24 cm, er forholdet motsatt. Pakking høyner maksimumstemperaturene i forhold til ubehandlet såbed. Tromling kommer i en mellomstilling i alle dybder. Virkningen av tromling og pakking på maksimumstemperaturen viser at disse behandlingene har ført mer varme nedover i profilet sammenlignet med ikke pakking. Beregningene for varmeledningsevnen (pkt 4.1.6) viste at tromling, men spesielt pakking økte varmeledningsevnen i sjiktet 2-6 cm (tabell 16).

Tabell 22. Midlere maksimumstemperatur i tre dybder i mai for konvensjonell jordarbeiding med ulik behandling av såbedet etter såing (°C)

Dybde	Upakket	Tromlet	Pakket	sn	LSD-5%
2 cm	18.7	17.9	17.4	**	0.8
6 cm	15.2	14.8	14.9	is	-
24 cm	10.4	10.6	10.6	*	0.1

Dekking av overflata med halm gir store utslag på jordas midlere maksimumstemperatur, spesielt nær overflata, men også nedover i profilet (tabell 23). Ved 2, 6 og 24 cm dybde har et halmdekke redusert midlere maksimumstemperatur henholdsvis 7.7, 4.9 og 1.8 °C i mai 1984.

I følge litteraturen senker et halmdekke maksimumstemperaturen i 2.5-5 cm dybde med 1-5°C sammenlignet med bar jord (GAUER et al., 1982; WALL & STOBBE, 1984; CARTER & RENNIE, 1985). Det er helt klart at mengden av planterester på overflata betyr mye for maksimumstemperaturen i jorda. UNGER (1978) rapporterer om en reduksjon av maksimumstemperaturen i

10 cm dybde på 3.8°C om våren og 4.5°C om sommeren når jorda ble dekket med 8 tonn halm pr ha.

Tabell 23. Midlere maksimumstemperatur i tre dybder i mai 1984 for jord med og uten halmdekke (°C)

Dybde cm	Halm	Upakket			Tromlet	Pakket						
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%	
2	Uten	21.4	21.2	19.8	19.5	19.4	20.4	20.0	20.2			
	Med	12.4	12.4	12.3	13.1	11.6	13.4	12.0	12.5			
	m	16.9	16.8	16.1	16.3	15.5	16.9	16.0		***	0.4	
	sn									***	Xis	
	LSD-5%									0.5		-
6	Uten	17.3	16.1	16.0	16.4	16.6	16.7	17.2	16.6			
	Med	11.9	11.3	11.3	12.0	11.1	12.5	11.4	11.7			
	m	14.6	13.7	13.7	14.2	13.8	14.6	14.3		***	0.3	
	sn									***	Xis	
	LSD-5%									0.4		-
24	Uten	11.2	11.1	10.9	11.4	11.2	11.7	11.4	11.3			
	Med	9.4	9.6	9.1	9.5	9.5	10.2	9.7	9.5			
	m	10.3	10.3	10.0	10.4	10.4	10.9	10.5		***	0.1	
	sn									***	Xis	
	LSD-5%									0.1		-

4.1.9. Midlere minimumstemperatur for 5-dagers perioder

Både redusert jordarbeiding og direktesåing hever minimumstemperaturen i alle dybdene (tabell 24). Ved å pakke såbedet ekstra heves minimumstemperaturen enda mer, uansett jordarbeiding. Dette er tilfelle for bar jord.

Direktesåing hevet minimumstemperaturen (middel for mai 1983 og 1984) 0.8, 0.5 og 0.2 °C i henholdsvis dybdene 2, 6 og 24 cm sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. Denne hevingen av minimumstemperaturen er mindre enn senkingen av maksimumstemperaturen ved samme behandling. UNGER (1978) fant også denne virkningen av ulik jordarbeiding på maksimum og minimum temperaturene i jorda.

Tabell 24. Midlere minimumstemperatur i tre dybder i mai for ulike jordarbeidingssystem og ulik pakking (°C)

Dybde	Pakking	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%
2 cm	Upakket	6.8	7.1	7.9	7.3		
	Pakket	7.5	8.0	8.1	7.8		
	m	7.2	7.5	8.0		***	0.2
	sn				***	X***	
	LSD-5%				0.1		0.1
6 cm	Upakke	8.1	8.6	8.6	8.4		
	Pakket	8.4	9.0	8.8	8.7		
	m	8.2	8.8	8.7		***	0.2
	sn				***	Xis	
	LSD-5%				0.1		0.1
24 cm	Upakket	9.1	9.6	9.3	9.3		
	Pakket	9.3	9.8	9.6	9.5		
	m	9.2	9.7	9.4		***	0.1
	sn				***	X*	
	LSD-5%				0.1		0.1

I et konvensjonelt såbed heves minimumstemperaturen i jordsjiktet 2-24 cm ved tromling og pakking. Pakking hever minimumstemperaturen mer enn tromling (tabell 25). Virkningen av tromling og pakking er størst nær såbedets overflate og

har høyere varmeledningsevne enn upakket jord i dybden 2-6 cm (pkt 4.1.6). Dette gir større varmetilførsel mot overflata av såbedet i kalde perioder og minimumstemperaturen heves sammenlignet med et upakket såbed.

Tabell 25. Midlere minimumstemperatur i tre dybder i mai for konvensjonell jordarbeiding med ulik behandling av såbedet etter såing (°C)

Dybde	Upakket	Tromlet	Pakket	sn	LSD-5%
2 cm	6.8	7.2	7.5	**	0.3
6 cm	8.1	8.3	8.4	*	0.2
24 cm	9.1	9.3	9.3	*	0.2

Dekking av overflata med halm hever midlere minimumstemperatur i 2 og 6 cm dybde (tabell 26). Lenger ned i profilet er forholdet motsatt. Her senkes minimumstemperaturene når jorda er dekket med halm. Virkningen i topplaget (2 og 6 cm) skyldes halmens isolerende evne. Halmdekket reduserer varmetapet om natta. Ved 24 cm dybde betyr redusert innstråling til jorda mer for minimumstemperaturen enn redusert utstråling fra jorda pga halm på overflata.

Minimumstemperaturen heves 1.3°C, mens maksimumstemperaturen senkes 7.7°C i middel for alle behandlinger i 2 cm dybde når jorda dekkes med halm sammenlignet med bar jord. Når både maksimums- og minimumstemperaturen reduseres i 24 cm dybde for halmdekket jord sammenlignet med bar jord, betyr det at den totale varmemengden til jorda er redusert.

Tabell 26. Midlere minimumstemperatur i tre dybder i mai 1984 for jord med og uten halmdekke (°C)

Dybde cm	Halm	Upakket			Tromlet	Pakket			m	sn	LSD-5%
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir			
2	Uten	7.1	7.2	7.7	7.8	7.6	8.2	7.9	7.6		
	Med	8.8	9.0	8.5	8.6	9.2	9.2	9.3	8.9		
	m	7.9	8.1	8.1	8.2	8.4	8.7	8.6		***	0.1
	sn									***	Xis
	LSD-5%								0.3		-
6	Uten	8.5	9.1	8.7	8.9	8.7	9.4	9.0	8.9		
	Med	9.0	9.3	8.8	8.8	9.4	9.6	9.4	9.2		
	m	8.7	9.2	8.7	8.9	9.0	9.5	9.2		***	0.1
	sn									***	Xis
	LSD-5%								0.2		-
24	Uten	9.7	9.9	9.5	9.8	9.7	10.1	9.9	9.8		
	Med	8.7	9.0	8.5	8.7	8.9	9.4	9.1	8.9		
	m	9.2	9.4	9.0	9.3	9.3	9.7	9.5		***	0.1
	sn									***	Xis
	LSD-5%								0.1		-

4.1.10. Midlere temperaturamplitude for 5-dagers perioder

Både jordarbeiding og pakking påvirker maksimums- og minimumstemperaturene i jorda, men som regel slik at når maksimum senkes, så heves minimumstemperaturen. Temperaturamplituden som er differansen mellom maksimum og minimum temperatur, er vist i tabell 27. Direktesåing har mindre temperaturamplituder i både 2 og 6 cm dybde enn konvensjonell og redusert jordarbeiding. Det er ingen forskjell på de to sistnevnte systemene i 2 cm dybde, men i 6 cm dybde har redusert jordarbeiding mindre temperaturamplituder enn konvensjonell

jordarbeiding. Den termiske diffusiviteten for redusert jordarbeiding var liten i sjiktet 2-6 cm i forhold til de to andre behandlingene. Ved 24 cm dybde har redusert jordarbeiding den minste temperaturamplituden. Allerede i 1956 viste VAN DUIN at temperaturamplitudene er større for et bearbeidet enn et ubearbeidet såbed.

Pakking har i overflata, 2 cm dybde, redusert temperaturamplituden i middel 1.2°C. Nedover i profilet er forholdet noe anderledes. Ved 6 cm er det ingen utslag for pakking. Ved 24 cm er derimot amplituden noe større når jorda er pakket, enn når den er ubehandlet. Dette stemmer med virkningen av pakkingen på jordas termiske egenskaper.

Tabell 27. Midlere temperaturamplituder i tre dybder i mai for ulike jordarbeidingssystem og ulik pakking (°C)

Dybde	Pakking	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%
2 cm	Upakket	11.9	11.8	9.2	10.9		
	Pakket	9.7	10.1	8.9	9.7		
	m	10.9	11.0	9.1		***	0.7
	sn					***	X***
	LSD-5%				0.4		0.5
6 cm	Upakket	7.1	6.2	5.6	6.3		
	Pakket	6.5	6.2	6.2	6.3		
	m	6.8	6.2	5.9		**	0.5
	sn				is	X***	
	LSD-5%				-		0.3
24 cm	Upakket	1.3	1.0	1.0	1.1		
	Pakket	1.3	1.2	1.2	1.2		
	m	1.3	1.1	1.1		***	0.1
	sn					***	X*
	LSD-5%				0.1		0.1

Ved konvensjonell jordarbeiding har et såbed som er u-behandlet etter såing, større temperatursvingninger enn om såbedet tromles eller pakkes (tabell 28). Utslaget er størst i 2 cm dybde, noe mindre ved 6 cm og i 24 cm dybde er det ingen forskjeller.

Tabell 28. Midlere temperaturamplituder i tre dybder i mai for konvensjonell jordarbeiding med ulik behandling av såbedet etter såing (°C)

Dybde	Upakket	Tromlet	Pakket	sn	LSD-5%
2 cm	11.9	10.7	9.9	**	0.9
6 cm	7.1	6.5	6.5	*	0.5
24 cm	1.3	1.3	1.3	is	-

Et halmdekke på jordoverflata reduserer temperaturamplitudene i både 2, 6 og 24 cm med henholdsvis 9.1, 5.2 og 0.8 °C i middel for alle behandlinger (tabell 29).

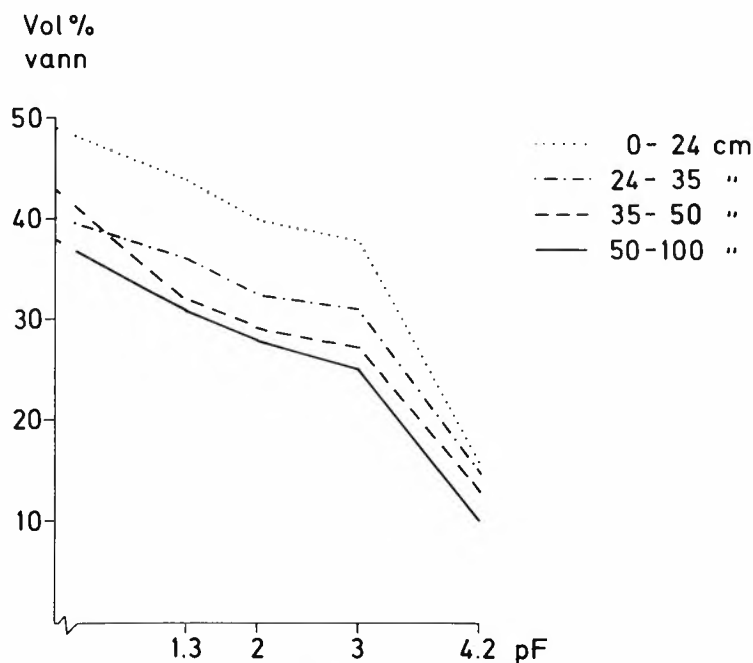
Både halm, pakking og jordarbeiding påvirker temperatursvingningene i jorda. Resultater som bygger opp under det som er funnet her, refereres av blant andre VAN DUIN (1956), HAY (1977), DEWEY & BAKER (1978), HAY et al. (1978) og KETCHESON et al. (1982).

Tabell 29. Midlere temperaturamplituder i tre dybder, mai 1984, i jord med og uten halmdekke (°C)

Dybde cm	Halm	UPAKKET			TROMLET	PAKKET			LSD-5%			
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir	m	sn	LSD-5%	
2	Uten	14.3	14.0	12.1	11.8	11.7	12.2	12.1	12.6			
	Med	3.6	3.4	3.9	4.6	2.4	4.2	2.7	3.5			
	m	9.0	8.7	8.0	8.2	7.1	8.2	7.4		***	0.4	
	sn									***	Xis	
	LSD-5%								0.7		-	
6	Uten	8.8	7.0	7.3	7.5	7.9	7.4	8.2	7.7			
	Med	2.9	2.0	2.5	3.2	1.8	2.9	2.0	2.5			
	m	5.8	4.5	4.9	5.4	4.8	5.1	5.1		***	0.3	
	sn									***	X*	
	LSD-5%								0.4		1.0	
24	Uten	1.5	1.2	1.4	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5			
	Med	0.7	0.6	0.6	0.8	0.6	0.8	0.6	0.7			
	m	1.1	0.9	1.0	1.2	1.1	1.2	1.0		**	0.1	
	sn									***	Xis	
	LSD-5%								0.1		-	

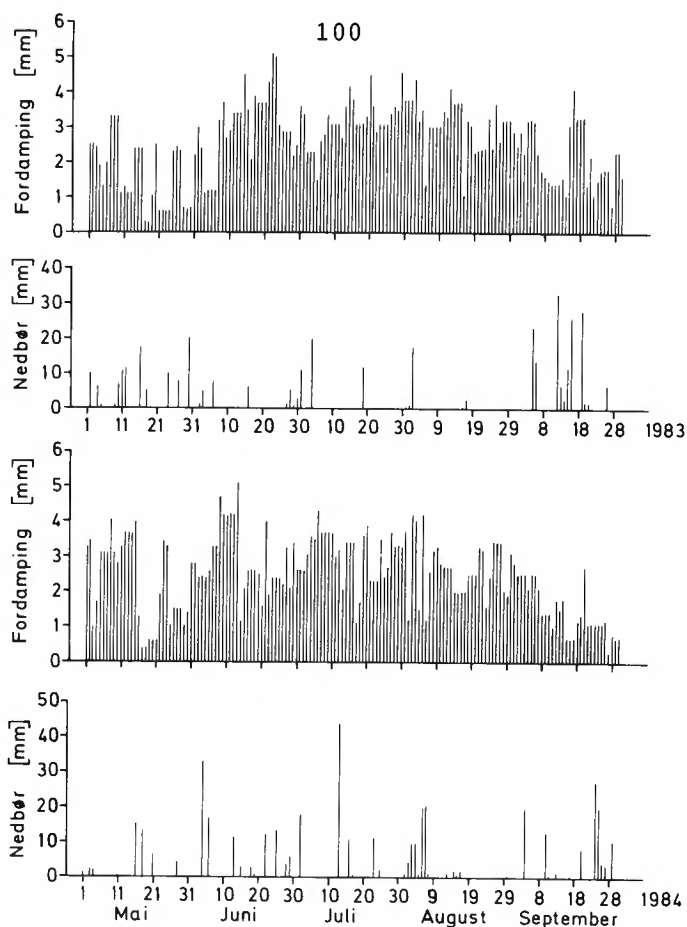
4.2. VANN. LAGRINGSEVNE OG LAGERENDRINGER

Jordarbeiding kan forandre både jordas evne til å lagre og fordampe vann, samt plantenes vannopptak (evne og mengde). Figur 26 viser forholdet mellom vannmengde og vannsug (bindingsenergi) for jorda på feltet. Disse pF-kurvene henviser til de ulike sjikt i jorda. I pkt 3.2 er profilet beskrevet nærmere og tabell 1 b viser fysiske målinger i profilet som ble gravd opp ved grensen til forsøksfeltet. Denne jorda var ikke blitt forsøksbehandlet, men drevet i vanlig åkerbruk. pF-kurven for sjiktet 0-24 cm vil ikke være representativ for de to behandlingene uten pløying.



Figur 26. pF-kurver for jordprofil, felt 1, NLH.

Figur 27 viser nedbør og fordamping i perioden 01.05.-30.09. for 1983 og 1984. Nedbøren og fordampingen er målt ved Institutt for jordkulturs forsøksgård, NLH. Fordamping er målt fra fri vannflate.



Figur 27. Fordamping og nedbør, mai - september 1983 og 1984, målt ved Institutt for jordkultur, NLH, Ås.

4.2.1. Vannlagringsevne

Vannlagringsevne, eller nyttbart vann i jorda, er i denne oppgaven definert som differansen mellom vanninnhold ved pF 2 og pF 4.2. Dette tilsvarer at feltkapasitet og visnegrense er definert som vanninnholdet i jorda ved henholdsvis pF 2 og pF 4.2. Begrepet feltkapasitet er diskutert i pkt 3.5.4. Nyttbart vannlager er bestemt ved pF-analyse av uforstyrret jord som beskrevet i pkt. 3.5.4. Jordprøvene ble tatt ut 06.06.83, 23.09.83, 16.05.84 og 01.10.84 i dybdene 0-5 cm,

10-15 cm og 20-25 cm. Det er lite sannsynlig at de aktuelle behandlingene har påvirket vannlagringsevnen i jorda under 25 cm dybde. Data for pF-analyser nedover i profilet finnes i tabell 1 b og i figur 26.

Tabell 30a viser vannlagringsevnen i 0-5 cm, 5-20 cm og 20-25 cm dybde i volumprosent og tabell 30b viser mengden nyttbart vann i mm i sjiktet 0-25 cm for vår og høst 1983 og 1984.

Tabell 30. Vannlagringsevne og mengde nyttbart vann for ulike jordarbeiding og ulike pakking ved fire forskjellige tidspunkt

a. Vannlagringsevne (vol%) i sjiktene 0-5, 5-20 og 20-25 cm

Dybde cm	Dato	Upakket			Tromlet	Pakket		
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir
0- 5	06.06.83	21.7	24.5	22.2	22.6	24.1	25.3	26.4
	23.09.83	19.4	21.0	24.9	21.7	22.6	23.3	25.3
	11.05.84	19.8	21.2	24.1	22.7	23.3	22.4	24.0
	01.10.84	21.3	25.4	25.7	25.0	23.4	27.9	28.0
	m	20.6	23.0	24.2	23.0	23.4	24.7	25.9
5-20	06.06.83	27.0	25.3	25.4	26.2	27.6	25.4	26.9
	23.09.83	23.0	26.4	26.4	22.8	23.9	27.4	26.9
	11.05.84	20.8	21.5	21.6	21.9	23.7	22.3	20.9
	01.10.84	24.4	27.2	25.2	24.3	26.4	26.8	24.6
	m	23.8	25.1	24.7	23.8	25.4	25.5	24.8
20-25	06.06.83	26.8	26.5	19.9	27.4	27.5	21.2	28.2
	23.09.83	24.6	25.7	22.8	25.7	26.4	24.6	24.8
	11.05.84	21.7	22.8	21.1	19.6	22.4	19.3	20.4
	01.10.84	22.4	24.0	24.7	24.5	24.7	25.8	25.5
	m	23.9	24.8	22.1	24.3	25.3	22.7	24.7

b. Nyttbart vannlager (mm) i sjiktet 0-25 cm

Dybde cm	Dato	Upakket			Tromlet	Pakket		
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir
0-25	06.06.83	65	63	59	64	67	61	68
	23.09.83	57	63	63	58	60	65	65
	11.05.84	52	54	55	54	58	54	54
	01.10.84	58	66	63	61	64	67	64
	m	58	62	60	59	62	62	63

I tabell 31 og 32 er middeltallene for de ulike behandlinger beregnet og variansanalyse foretatt. For de ulike jordarbeidingssystemene er det bare i 0-5 cm dybde at det er noen signifikant forskjell i vannlagringsevnen (tabell 31). Direktesåing har ca 3 vol% større vannlagringsevne enn konvensjonell jordarbeiding. Nyttbar vannmengde i hele sjiktet 0-25 cm er ikke signifikant forskjellig for de ulike jordarbeidingssystemene. RILEY (1983 b) oppgir en økning i kapasiteten for tilgjengelig vann i sjiktet 1-6 cm for lignende jordtyper på 3-4 vol% ved direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. I 11-16 cm dybde var denne virkningen borte.

Pakking har gitt signifikant økning i vannlagringsevnen både i sjiktet 0-5 cm og 5-20 cm, men ikke dypere ned sammenlignet med ikke pakking (tabell 31). Økning i vannlagringsevnen er 2.1 vol% og 0.7 vol% i de nevnte sjiktene. Den nyttbare vannmengde i sjiktet 0-25 cm har økt med 2 mm ved pakking sammenlignet med ikke pakking.

Tabell 31. Vannlagringsevne (vol%) og nyttbart vann (mm) i sjiktet 0-25 cm for ulike jordarbeidingsystemer og ulik pakking

Dybde	Vannlagringsevne			Nyttbart vann
	0-5 cm	5-20 cm	20-25 cm	0-25 cm
Konv	22.0	24.6	24.6	60
Red	23.9	25.3	23.7	62
Dir	25.1	24.7	23.4	61
sn	*	is	is	is
LSD-5%	2.0	-	-	-
Upakket	22.6	24.5	23.6	60
Pakket	24.7	25.2	24.2	62
sn	**	*	is	**
LSD-5%	0.6	0.5	-	1.0

Det var ingen signifikante samspill mellom jordarbeidings-system og pakking.

Ved pakking vil jorda få redusert andelen drenerbare porer og mengden tilgjengelig vann vil som regel øke. Resultatene i tabell 31 kan ut fra dette tolkes som om direktesåing pakker jorda mest i 0-5 cm dybde, redusert jordarbeiding i 10-15 cm dybde og konvensjonell jordarbeiding i 20-25 cm dybde. Dette stemmer overens med arbeidsdybden ved de enkelte behandlingene.

For konvensjonell jordarbeiding med ulik behandling etter såing har både tromlet og pakket såbed høyere vannlagringsevne i 0-5 cm sammenlignet med ubehandlet såbed (tabell 32). Effekten av tromling reduseres lengre ned i profilet, mens pakking har økt lagringsevnen for vann i sjiktet 5-20 cm sammenlignet med de to andre behandlingene. Det er ingen signifikant forskjell i sjiktet 20-25 cm for vannlagrings-

evne. Nyttbar vannmengde i hele sjiktet er henholdsvis 2 og 3 mm større når såbedet blir pakket sammenlignet med tromlet og ubehandlet såbed.

Tabell 32. Vannlagringsevne (vol%) og nyttbart vann (mm) i sjiktet 0-25 cm for konvensjonell jordarbeiding med ulik pakking etter såing.

Pakking	Vannlagringsevne			Nyttbart vann
	0-5 cm	5-20 cm	20-25 cm	0-25 cm
Upakket	20.6	23.8	23.9	58
Tromlet	23.0	23.8	24.3	59
Pakket	23.4	25.4	25.3	62
sn	**	*	is	**
LSD-5%	1.4	1.0	-	2.1

4.2.2. Endringer i vannlageret

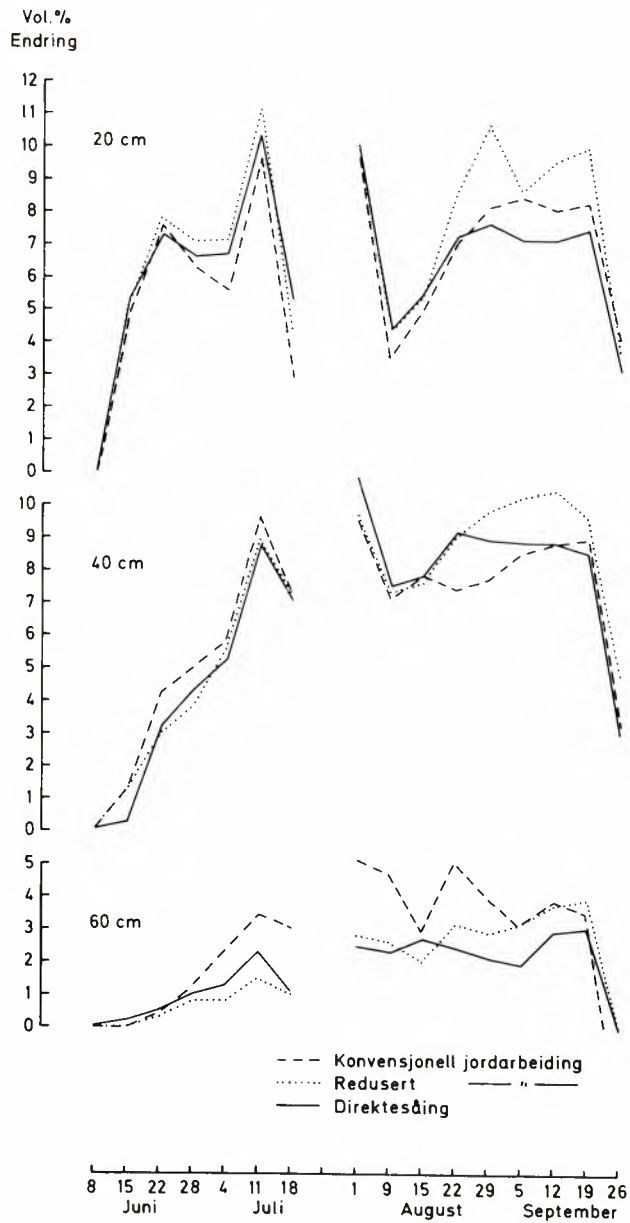
I vekstsesongen 1984 ble vanninnholdet i jorda målt ved hjelp av nøytronmeter. Målingene ble foretatt en gang pr uke fra begynnelsen av juni til slutten av september. Det ble målt fra overflata og ned til 140 cm dybde med intervaller på 20 cm. 1984 var det rikelig med nedbør i denne perioden (fig. 27). Resultatet av dette ble liten uttørking av jorda og fra 80 cm og nedover var det ingen målbar uttørking dette året.

Figur 28 viser endringen i vanninnhold i jorda fra 08.06.84 til 26.09.84 for dybdene 20, 40 og 60 cm. Ved startpunktet for målingene har trolig vanninnholdet i jorda vært nær feltkapasiteten for de ulike sjikt. Dette begrunnes med de store nedbørsmengdene, ca 50 mm, i perioden 04-06.06.84 og at jorda på dette feltet nå er godt drenert pga grøfting. Vanninnholdet ved start er derfor valgt som "nullnivå". Kurvene på figur 28 viser hvor mye vanninnholdet er lavere enn referansenivået. De målte verdier finnes i vedlegg 8.

Ved 20 cm dybde ble vanninnholdet raskt påvirket av nedbør og fordamping. Inntil 2-3 uker etter at målingene begynte er det ingen forskjell i hvordan vanninnholdet endrer seg. Når det kommer nedbør synes konvensjonelt arbeidet jord å gi høyere vanninnhold ved 20 cm dybde sammenlignet med de 2 andre behandlingene. Fra 15.08. har redusert jordarbeiding større endring i vannlageret og i virkeligheten lavere vanninnhold i både 20 og 40 cm enn de to andre behandlingene. Dette kan skyldes større vannopptak fra plantene. Avlingene var høyere etter redusert jordarbeiding sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding og direktesåing dette året.

Ved 60 cm skiller konvensjonell jordarbeiding seg fra de to andre behandlingene ved at vanninnholdet avtar mer. Nøytronmetermålingene for dybdene 20, 40 og 60 cm kan også gi et inntrykk av at redusert jordarbeiding og direktesåing har fordelt vannet jevnere nedover enn konvensjonell jordarbeiding. Rotutviklingen kan ha vært dypere for konvensjonell jordarbeiding og av den grunn vannopptaket større i 60 cm dybde.

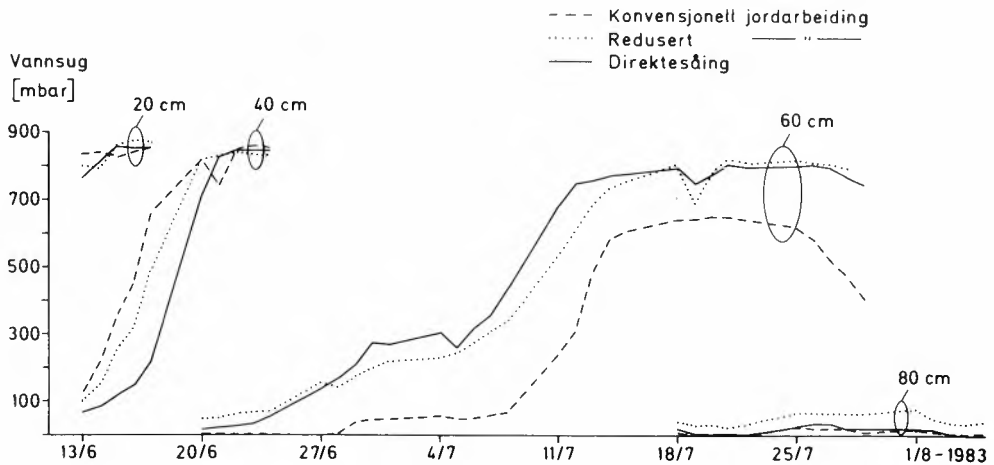
Disse resultatene stemmer ikke med hva f.eks O'SULLIVAN (1985) fant ved nøytronmetermålinger. Hans forsøk tydet på sterkere og raskere uttørking i 0-20 cm dybde ved konvensjonell jordarbeiding sammenlignet med direktesåing. Det var motsatt virkning i 60 cm dybde. I 1984 var nedbøren jevn og rikelig i hele vekstperioden. Det var ingen tørkeperiode etter 15. mai. Dette er nok årsaken til både små utslag for behandlingene og tildels noe uventet resultat.



Figur 28. Endringer i vannlager i jord for dybdene 20, 40 og 60 cm målt med nøytronmeter for tre ulike jordarbeidingsystem, 1984.

4.2.3. Endringer i vannsuget

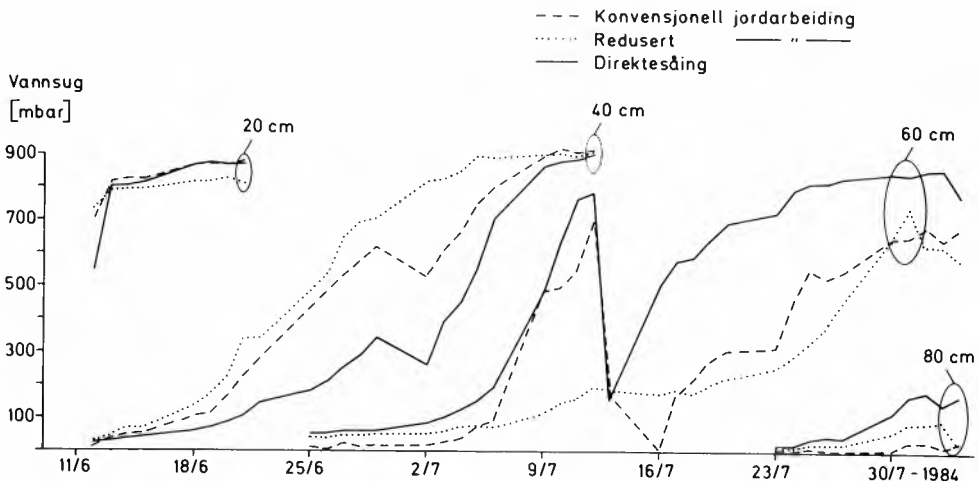
Figurene 29 og 30 viser vannsuget i jorda i ulike dybder for henholdsvis 1983 og 1984 for de ulike jordarbeidingsystem. I 20 cm dybde er det ikke mulig å se noen forskjeller mellom behandlingene. Dessuten er vannsuget i denne dybden stort sett høyere enn måleområdet for tensiometrene. Ved større nedbørmengder faller suget raskt i 20 cm dybde, men det stiger hurtig igjen etter at regnet opphører. For pløyd jord var reduksjonen i vannsuget større og raskere enn for de andre behandlingene.



Figur 29. Endringer i vannsuget i jorda for dybdene 20, 40 og 60 cm målt med tensiometer for tre ulike jordarbeidingsystem, 1983.

Ved 40 cm er stigningen i vannsuget forskjellig for de ulike behandlingene og for de to årene. I 1983 stiger vannsuget fra ca 100 mbar til over 800 mbar i perioden 13-20.06. (fig. 29). I 1984 når ikke vannsuget 800 mbar før 09.07. (fig. 30). Felles for 40 cm kurvene i 1983 og 84 er at vannsuget for direktesåing stiger seinere sammenlignet med de to andre behandlingene.

Tensiometermålingene i 60 cm viser sprikende resultater for 1983 (fig. 29) og 1984 (fig. 30). I 1984 er vannsuget påvirket av et kraftig regnvær 13.07. og kurven for vannsug i 60 cm dybde får en tydelig knekk ved dette tidspunktet. Både i 1983 og 1984 har direktesåing et vannsug som i store deler av vekstsesongen er høyere sammenlignet med de to andre behandlingene. I 1983 har alle behandlingene en ensartet utvikling med hensyn til vannsuget i 60 cm dybde. Det er konvensjonell jordarbeiding som skiller seg ut ved hele tiden å ha et lavere vannsug enn de to andre jordarbeidings-systemene. I 1984 er vannsugkurven i 60 cm dybde for redusert jordarbeiding forskjellig fra de to andre kurvene. Det kan ha vært en feil med selve tensiometeret eller med plasseringen av dette. Nøytrontermålingene i 60 cm dybde for redusert jordarbeiding viser nokså liten uttørking før i siste del av vekstperioden.



Figur 30. Endringer i vannsuget i jorda for dybdene 20, 40 og 60 cm målt med tensiometer for tre ulike jordarbeidingsystem, 1984.

Ved 80 cm dybde har det vært liten virkning på vannsuget disse to årene. Utslagene er små, men målbare fra ca 25.07. begge år.

For de to årene 1983 og 1984 er forholdet mellom vannsuget etter direktesåing og konvensjonell jordarbeiding stort sett de samme i 40 og 60 cm dybde. Direktesåing har mindre vannsug i 40 cm dybde, men høyere i 60 cm dybde sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding.

For 1984 skulle sammenhengen mellom tensiometer- og nøytronmetermålinger være i samsvar med pF-kurvene for profilet. Det er forhold i disse målingene som tyder på stor variasjon i profilet under matjordsjiktet. Overraskende på et lite felt, men andre profilbeskrivelser i nærheten gir grunnlag for å tro at jordvariasjonen er stor i området.

4.3. ANDRE FYSISKE, SAMT KJEMISKE FORHOLD I JORDA

Fysiske og kjemiske analyser er utført på tre forsøksfelt. Felt 1, NLH, har fått samme behandling som målefeltet for jordtemperatur. På felt 2, NLH, og felt 3, Øsaker, var det bare hovedjordarbeiding som var forsøksbehandlingen.

4.3.1. Trykkfasthet

Jordas trykkfasthet på felt 2 og 3 er bestemt med Eijkelkamp håndpenetrometer (tab. 33 og 35). På felt 1 ble trykkfastheten målt med et Bush selvregistrerende penetrometer (tab. 36).

På felt 2 og 3 er trykkfastheten målt i begynnelsen av vekstsesongen både i 1983 og 1984. Tabell 33 viser trykkfastheten for hver femte cm nedover i jorda for felt 2, NLH. De ulike jord-arbeidingssystem har ikke ført til store forskjeller i

trykk-fasthet på dette feltet. I dybdene 0-5 og 5-10 cm er det ingen signifikant forskjell for trykkfastheten hverken i 1983 eller 84. Dette resultat kan virke overraskende når en tenker på den store forskjellen det er mellom behandlingene når det gjelder løsning av jorda i sjiktet 0-20 cm. Trykkfastheten i jorda er avhengig av vanninnholdet. For felt 2 og 3 er vanninnholdet vist i tabell 34. I dybden 0-10 cm er vanninnholdet høyest for direktesåing og lavest for konvensjonell jordarbeiding. Differansen på ca 5 vekt-prosent vann kan forklare hvorfor direktesådd jord har lavest trykkfasthet både i 0-5 cm og 5-10 cm dybde i 1983. Fra 10 til 20 cm er forskjellen i jordfuktighet relativt liten mellom de ulike jordarbeidingssystemene. Her viser konvensjonell jordarbeiding signifikant lavere trykkfasthet enn de to andre jordarbeidingssystemene. Pløedybden på dette feltet har vært ca 20 cm, og ved denne dybden stiger trykkfastheten mye for det pløye leddet. Dette er ikke tilfelle for de oppløye leddene. Danning av plogsåle må være forklaringen på dette. I 1983 var vanninnholdet høyest nettopp for konvensjonell jordarbeiding i sjiktet 20-30 cm, mens forskjellen i jordfuktighet var liten i 1984 mellom de ulike behandlingene. Under 25 cm stiger jordfastheten mye for alle behandlingene både i 1983 og 1984.

Tabell 33. Trykkfasthet målt med penetrometer (Eijkelkamp) for felt 2, NLH, 1983 og 1984 (10^5 Pa)

Dybde cm	1983					1984				
	Konv	Red	Dir	sn	LSD-5%	Konv	Red	Dir	sn	LSD-5%
0- 5	5.6	6.0	5.0	is	-	5.1	6.1	6.4	is	-
5-10	5.9	6.0	5.3	is	-	7.0	7.9	7.2	is	-
10-15	4.5	6.2	6.4	*	1.1	6.5	8.4	8.3	*	1.8
15-20	5.4	7.6	7.7	*	1.6	8.1	11.7	11.3	*	1.4
20-25	10.8	8.1	8.2	***	1.0	13.8	11.5	11.6	*	2.1
25-3	14.5	13.8	13.0	is		14.1	13.0	13.0	is	-

For felt 3, Øsaker, er forskjellen i jordfuktighet mindre mellom de ulike jordarbeidingsystemene enn tilfellet var for felt 2, NLH (tab. 34). På felt 3 har direktesåing gitt høyest og konvensjonell jordarbeiding lavest trykkfasthet i sjiktet 0-5 cm både i 1983 og 1984 (tab. 35). Det er tydelig at nedover i plogsjiktet er det konvensjonell jordarbeiding som skiller seg ut med langt lavere trykkfasthet enn de to andre behandlingene. Denne forskjellen er klar ned til 25 cm som er pløedybden på dette feltet. Plogsåle finner en også på dette feltet etter konvensjonell jordarbeiding. For alle behandlinger er det stor økning i jordas trykkfasthet mellom 25 cm til 30 cm. Noe av årsaken til dette kan være "gammel" plogsåle. Generelt har målingene i 1983 gitt større utslag enn i 1984, men tendensen er den samme for begge år.

Tabell 34. Vanninnhold (vekt %) i ulike dybder for felt 2, NLH og felt 3, Øsaker. Jordprøvene er tatt ut samme dag som penetrometermålingene er utført.

Sted	Dato	Dybde	Konv	Red	Dir
Ås	26.05.83	0-10 cm	36.2	39.5	41.3
		10-20 cm	38.5	39.3	40.0
		20-30 cm	38.4	34.5	36.6
Øsaker	01.06.83	0-10 cm	26.6	27.7	28.8
		10-20 cm	29.5	28.8	29.5
		20-30 cm	30.0	28.2	28.2
Ås	27.04.84	0-10 cm	34.1	34.0	36.6
		10-20 cm	36.0	35.1	35.4
		20-30 cm	36.2	35.3	35.2
Øsaker	26.04.84	0-10 cm	25.5	27.7	27.3
		10-20 cm	27.6	28.3	28.6
		20-30 cm	29.2	29.5	29.0

Tabell 35. Trykkfasthet målt med penetrometer (Eijkelkamp) for felt 3, Øsaker, 1983 og 1984 (10^5 Pa)

Dybde cm	1983					1984				
	Konv	Red	Dir	sn	LSD-5%	Konv	Red	Dir	sn	LSD-5%
0- 5	3.8	5.5	7.5	*	2.7	4.1	6.6	8.2	***	1.2
5-1	5.3	6.7	8.8	*	2.8	7.2	8.9	9.2	is	-
10-15	5.5	7.7	9.9	*	3.1	7.4	9.7	9.7	is	-
15-20	4.7	8.2	10.3	***	2.3	8.6	11.5	10.6	is	-
20-25	6.4	13.4	14.0	***	3.4	9.3	15.5	16.9	**	3.3
25-30	29.5	24.0	25.5	*	3.7	27.2	24.8	25.3	is	-

På felt 1, NLH, ble trykkfastheten målt høsten 1984 (tab. 36). I tillegg til ulik jordarbeiding er også etterarbeiding med tromling og pakking med som behandling på dette feltet. I dybden 3.5 og 7.0 cm har konvensjonell jordarbeiding gitt signifikant lavere trykkfasthet enn de to andre jordarbeidingssystemene. I de andre dybdene er det ingen signifikante utslag for jordarbeiding. På dette feltet ble det ikke registrert noen plogsåle for det pløyde leddet.

Pakking har gitt økt trykkfasthet i dybdene 3.5, 7.0 og 10.5 cm. I de andre dybdene er ikke forskjellene mellom "upakket", "tromlet" og "pakket" statistisk sikker. Tromling har ikke påvirket trykkfastheten i jorda sammenlignet med ingen pakking.

Vanninnholdet i jorda ved penetrometermålingene er vist i tabell 37. Konvensjonell jordarbeiding har stort sett lavest vanninnhold i hele sjiktet fra 0-30 cm. Normalt skulle dette bety at under like fuktighetsforhold i jorda, skulle forskjellen i trykkfasthet for de ulike jordarbeidingssystemene være større enn den målte. For pakkingsbehandlingene er vanninnholdet nærmest likt i de dybdene hvor utslagene var signifikante.

Tabell 36. Trykkfasthet målt med penetrometer (Bush) for felt 1, NLH, høsten 1984 (10^5 Pa)

Behandling	Over- flata	3.5 cm	7.0 cm	10.5 cm	14.0 cm	17.5 cm	21.0 cm	24.5 cm
Konv	3.3	6.0	10.4	11.4	13.1	15.0	16.8	24.5
Red	3.5	7.6	14.5	15.5	15.8	16.2	20.5	30.2
Dir	4.1	9.6	13.7	14.3	15.7	16.6	21.0	31.1
sn	is	***	***	is	is	is	is	is
LSD-5%	-	1.1	0.5	-	-	-	-	-
Upakket	3.0	5.6	12.2	12.6	13.6	14.3	17.8	26.9
Tromlet	3.4	7.2	12.3	13.7	15.1	16.8	19.9	29.6
Pakket	4.4	10.5	14.1	14.9	15.8	16.8	20.7	29.3
sn	is	***	*	*	is	is	is	is
LSD-5%	-	2.5	1.5	1.6	-	-	-	-

Samspillet mellom jordarbeiding og pakking er ikke statistisk sikker for noen av dybdene når det gjelder trykkfasthet.

Virkningen av hovedjordarbeiding på trykkfastheten i jordas øvre 30 cm har variert på disse tre forsøksfeltene. Begge feltene på Ås viser at konvensjonell jordarbeiding bare har litt lavere trykkfasthet i det pløyde sjiktet sammenlignet med de to andre behandlingene. På felt 3, Øsaker, er det tydelig høyere trykkfasthet der det ikke er pløyd. Totalt sett er det liten forskjell i virkningen av redusert jordarbeiding og direktesåing på trykkfastheten i jorda. MARTI (1984) fant at trykkfastheten var 50% større for upløyd sammenlignet med pløyd jord. Det er bare på felt 3, Øsaker, at virkningen av jordarbeidinga har vært tilnærmet så stor i disse forsøkene. ELLIS et al. (1979, 1982) og O'SULLIVAN & BALL (1982 a) målte vel så store utslag av ulik hovedjordarbeiding på trykkfastheten som MARTI (1984).

Tabell 37. Vanninnhold (vekt %) i ulike dybder for felt 1, NLH. Jordprøvene er tatt samme dag som målingene med penetrometer er utført.

Behandling	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Konv	28.5	26.1	26.2
Red	32.1	27.7	25.9
Dir	31.6	28.3	28.9
Upakket	30.8	27.9	25.5
Tromlet	30.5	27.1	27.1
Pakket	30.9	27.1	28.5

4.3.2. Jordtetthet

Jordtettheten på felt 2 og 3 er målt ved hjelp av jordprøver som er tatt etter at feltet er forsøkshestet. Tabell 38 viser jordtettheten i dybdene 5-10, 15-20 og 25-30 cm for felt 2, NLH, i 1983 og 1984. Det er ingen statistisk sikre forskjeller i tallmaterialet (årene 1983 og 1984 er brukt som gjentak ved den statistiske beregningen). Resultatene i 1983 og 1984 peker i ulik retning for de ulike jordarbeidings-systemene. Med bakgrunn i disse resultatene, samt målinger utført i 1985 på samme felt, kan en slå fast at de ulike jordarbeidings-system ikke har påvirket jordtettheten på dette feltet.

På øsaker er målingene av jordtettheten heller ikke signifikant forskjellige for de ulike jordarbeidings-systemene (tab. 39). Utelating av pløying har økt jordtettheten i sjiktet 5-10 cm både i 1983 og 84. I dybden 15-20 cm er ikke resultatene så entydige og i dybden 25-30 cm er jordtettheten helt lik for de forskjellige behandlingene.

Tabell 38. Jordtetthet i tre dybder etter ulike jordarbeidingsystem, felt 2, NLH (kg dm⁻³)

Dybde	Jordarb	1983	1984	m	sn	LSD-5%
5-10 cm	Konv	1.24	1.27	1.26		
	Red	1.24	1.23	1.24	is'	-'
	Dir	1.29	1.18	1.24		
15-20 cm	Konv	1.31	1.29	1.30		
	Red	1.24	1.26	1.25	is	-
	Dir	1.29	1.25	1.27		
25-30 cm	Konv	1.50	1.50	1.50		
	Red	1.56	1.51	1.54	is	-
	Dir	1.52	1.49	1.51		

'): Signifikansnivå (sn) og LSD-5% verdi gjelder for middel-tallene (m).

Tabell 39. Jordtetthet i tre dybder etter ulike jordarbeidingsystem, felt 3, Øsaker (kg dm⁻³)

Dybde	Jordarb	1983	1984	m	sn	LSD-5%
5-10 cm	Konv	1.31	1.39	1.35		
	Red	1.37	1.40	1.39	is	-
	Dir	1.40	1.44	1.42		
15-20 cm	Konv	1.40	1.36	1.38		
	Red	1.44	1.34	1.39	is	-
	Dir	1.40	1.44	1.42		
25-30 cm	Konv	1.58	1.63	1.61		
	Red	1.59	1.62	1.61	is	-
	Dir	1.59	1.63	1.61		

På felt 1, NLH, der forsøksbehandlingen besto både av ulik jordarbeiding og ulik etterarbeiding, ble jordtettheten målt bare i en dybde, 10-15 cm. På dette feltet ble målingene foretatt både før jordarbeiding om våren og etter forsøks-tresking om høsten (tab. 40).

Totalt har konvensjonell jordarbeiding med pløying lavere jordtetthet i dybden 10-15 cm enn både redusert jordarbeiding og direktesåing. Etterarbeiding derimot har ikke gitt signifikant utslag for jordtettheten. Det mest interessante med resultatene i tabell 40 er den tydelige forskjellen det er for målinger om våren og om høsten. For konvensjonell jordarbeiding hvor jorda ble pløyd etter prøvetaking om høsten er det naturligvis stor reduksjon i jordtettheten fra høst til vår. Redusert jordarbeiding og direktesåing får også en liten reduksjon i jordtettheten i løpet av vinteren. I vekstsesongen utjevnes disse forskjellene slik at om høsten er det ikke noen forskjell på jordtettheten for de ulike jordarbeidingssystemene. Konklusjonen på dette må være at telen løsner den upløydde jorda om vinteren og at den pløydde jorda pakkes lettere i vekstsesongen enn jord som ikke pløyes.

Sammenlignet med målinger av jordtetthet i andre jordarbeidingsforsøk er virkningene på jordtettheten av hovedjordarbeidingen liten i disse forsøkene (PIDGEON & SOANE, 1977; ELLIS et al., 1979; MARTI, 1984; RILEY et al., 1985). Noe av årsaken kan ligge i antall år forsøkene har vært i gang. Tidspunktet for prøveutaket er også viktig og f.eks ELLIS et al., (1979) og CANNELL et al., (1980) har målt jordtettheten ved tidspunktet for såing av høstkorn. Målingene om våren før såing på felt 1, NLH, viste klar forskjell i jordtettheten for de ulike jordarbeidings-systemene.

Tabell 40. Jordtetthet i dybden 10-15 cm etter ulik jordarbeiding og ulik pakking, felt 1, NLH (kg dm⁻³)

Behandling	T i d s p u n k t				M i d d e l		
	Vår83	Høst83	Vår84	Høst84	Vår	Høst	m
Konv	1.26	1.42	1.27	1.40	1.26	1.41	1.34
Red	1.35	1.43	1.37	1.38	1.36	1.40	1.38
Dir	1.38	1.44	1.38	1.43	1.38	1.43	1.41
sn					***'		***
LSD-5%					0.03'		0.03
Upakket	1.34	1.42	1.32	1.41	1.33	1.41	1.37
Tromlet	1.32	1.42	1.34	1.37	1.33	1.40	1.36
Pakket	1.33	1.45	1.36	1.43	1.35	1.44	1.39
sn					is		is
LSD-5%					-		-

'): Signifikansnivå og LSD-5% verdi for samspillet mellom jordarbeiding og tid (vår og høst) for prøveuttak.

4.3.3. Porevolum

Porevolumet i jorda på felt 2, NLH, er vist i tabell 41. I likhet med jordtettheten er det lite utslag på porevolumet av de ulike jordarbeidingssystemene. I både 5-10 cm og 15-20 cm dybde er det et porevolum på noe over 50% for alle behandlinger. I dybden 25-30 cm er porevolumet ca 43% uansett behandling

Tabell 41. Porevolum i 3 dybder etter ulike jordarbeidings-system, felt 2, NLH (vol %)

Dybde	Jordarb	1983	1984	m	sn	LSD-5%
5-10 cm	Konv	50.9	50.5	50.7		
	Red	51.9	52.0	52.0	is	-
	Dir	50.4	53.7	52.1		
15-20 cm	Konv	50.0	50.3	50.2		
	Red	51.6	51.8	51.7	*	1.0
	Dir	50.1	50.9	50.5		
25-30 cm	Konv	43.8	43.6	43.7		
	Red	42.3	43.3	42.8	is	-
	Dir	43.3	44.2	43.7		

Tabell 42. Porevolum i tre dybder for ulike jordarbeidings-system for felt 3, Øsaker (vol %)

Dybde	Jordarb	1983	1984	m	sn	LSD-5%
5-10 cm	Konv	50.3	48.0	49.2		
	Red	49.0	48.0	48.5	is	-
	Dir	46.7	46.9	46.8		
15-20 cm	Konv	46.8	49.0	47.9		
	Red	45.6	49.5	47.6	is	-
	Dir	47.1	46.9	47.0		
25-30 cm	Konv	43.2	41.7	42.5		
	Red	42.3	41.9	42.1	is	-
	Dir	41.7	41.3	41.5		

Porevolumet i jorda på felt 3, Øsaker, er litt mindre enn på felt 2, NLH (tab. 42). På dette feltet er det nedgang i porevolumet for redusert jordarbeiding og direktesåing. Reduksjonen er størst i 5-10 cm dybde, men heller ikke her signifikant for årene 1983 og 1984. Direktesåing har mindre

porevolum i 5-10 cm dybde sammenlignet med redusert jordarbeiding.

Resultatene for felt 1, NLH, viser totalt en signifikant nedgang i porevolumet i 10-15 cm dybde når pløyinga blir sløyfet (tab. 43). Det er målingene om våren som er årsak til dette. Etter vekstsesongen er det liten effekt av jordarbeidinga på porevolumet.

Hovedeffekten av pakking er ikke signifikant selv om det pakkede leddet har noe mindre porevolum sammenlignet med de to andre leddene i dybden 10-15 cm.

Av tabell 43 er det tydelig at den økningen i porevolum som pløying gir, stort sett reduseres i løpet av vekstsesongen til samme nivå som for jord som ikke pløyes.

Tabell 43. Porevolum (vol %) i dybden 10-15 cm etter ulik jordarbeiding og ulik pakking, felt 1, NLH

Behandling	T i d s p u n k t				M i d d e l		
	Vår83	Høst83	Vår84	Høst84	Vår	Høst	m
Konv	50.8	44.2	51.9	46.8	51.3	45.8	48.6
Red	46.9	44.6	47.8	48.3	47.4	46.4	46.9
Dir	45.9	44.5	47.2	46.2	46.6	45.4	46.0
sn					***		***
LSD-5%					1.5		1.1
Upakket	47.6	45.2	49.7	47.0	48.7	46.1	47.4
Tromlet	48.1	45.1	49.4	48.6	48.7	46.9	47.8
Pakket	47.9	43.6	47.9	45.7	47.9	44.7	46.3
sn					is		is
LSD-5%					-		-

For porevolumsbestemmelser utført om høsten er det liten forskjell i porevolumet for feltene 1 og 2 på Ås. På felt 3, Øsaker, hvor jorda inneholder mer leir, er reduksjonen i porevolumet 2.4 vol% ved direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. Porevolumet stemmer godt overens med jordtettheten for de samme feltene.

4.3.4 Luftvolum

Det er ingen signifikante utslag når det gjelder innhold av luft ved pF 2 for de ulike jordarbeidingssystemene på felt 2, NLH, (tab. 44). I 1984 er det overraskende lite luft på det pløye leddet, både i dybden 5-10 cm og 15-20 cm. Målingene for jordtetthet fra samme feltet (tab. 38) viser at jordtettheten er større for konvensjonell jordarbeiding i både 5-10 cm og 15-20 cm dybde sammenlignet med de to andre behandlingene. Dette stemmer med at luftvolum og porevolum er lavere i denne jorda.

På felt 3, Øsaker, er det heller ingen signifikante utslag for jordarbeidingssystem på innhold av luft i jorda ved pF 2 (tab. 45). I dybden 5-10 cm viser tabell 45 at det pløye leddet inneholder mest luft. Dypere ned er det små forskjeller i luftinnholdet for de ulike behandlinger. I sjiktet 25-30 cm er det lite luft i jorda ved pF 2. RILEY et al. (1985) rapporterer om nedgang i luftvolum ved pF 2 på leirjord når pløyinga utelates.

Måling av luftvolum i jorda på felt 1, NLH, viser de samme forhold som målingene for jordtetthet og porevolum (tab. 46). Det er resultatene fra våren 1983 og 1984 som viser forskjell mellom jordarbeidingssystemene, når det gjelder innhold av luft ved pF 2. Om høsten er igjen disse forskjellene utjevnet.

Tabell 44. Luftinnhold ved pF 2 i tre dybder etter ulike jordarbeidingssystem, felt 2, NLH (vol %)

Dybde	Jordarb	1983	1984	m	sn	LSD-5%
5-10cm	Konv	8.4	2.7	5.6		
	Red	5.9	5.4	5.7	is	-
	Dir	6.4	7.7	7.1		
15-20cm	Konv	6.3	2.1	4.2		
	Red	8.3	3.5	5.9	is	-
	Dir	6.3	3.9	5.1		
25-30cm	Konv	4.4	5.9	5.2		
	Red	2.9	3.9	3.4	is	-
	Dir	3.9	2.8	3.4		

Tabell 45. Luftvolum ved pF 2 i tre dybder etter ulike jordarbeidingssystem, felt 3, Øsaker (vol %)

Dybde	Jordarb	1983	1984	m	sn	LSD-5%
5-10cm	Konv	10.9	7.0	9.0		
	Red	5.9	6.0	6.0	is	-
	Dir	5.2	5.4	5.3		
15-20cm	Konv	4.3	8.1	6.2		
	Red	1.9	11.0	6.5	is	-
	Dir	4.2	6.7	5.5		
25-30cm	Konv	0	0	0		
	Red	0.1	2.2	1.2	is	-
	Dir	0.3	0.6	0.5		

Den store reduksjonen i luftvolum fra vår til høst på pløyd jord tyder på at det er de grove porene som brytes ned. Pakking gir om høsten noe mer reduksjon i luftvolumet ved pF

2 i 10-15 cm dybde sammenlignet med ikke pakking og tromling. Målingene fra våren 1984 tyder på ettervirkning av pakking fra tidligere år. Dette er tilfelle på den upløyde jorda.

Tabell 46. Luftvolum ved pF 2 i dybden 10-15 cm etter ulike jordarbeiding og ulike pakking, felt 1, NLH (vol %)

Behandling	T i d s p u n k t				M i d d e l		
	Vår83	Høst83	Vår84	Høst84	Vår	Høst	m
Konv	12.6	5.8	18.1	8.6	15.4	7.2	11.3
Red	6.2	4.2	10.9	7.9	8.6	6.0	7.3
Dir	6.9	5.9	10.5	7.3	8.7	6.6	7.7
sn					*		***
LSD-5%					2.7		1.5
Upakket	8.6	6.7	14.6	8.6	11.6	7.7	9.6
Tromlet	8.5	5.1	13.1	9.7	10.8	7.4	9.1
Pakket	8.6	4.0	11.8	5.5	10.2	4.8	7.5
sn					is		is
LSD-5%					-		-

Virkingen av ulike hovedjordarbeiding på luftinnholdet ved pF 2 i jorda har vært liten både i 0-10 cm og 10-20 cm dybde på disse feltene. Heller ikke forsøkene til MARTI (1984) viste i middel noen stor nedgang i luftvolum i disse dybdene når pløyinga ble sløyfet. Jordarten betyr mye for hvor stor reduksjonen i jordas luftvolum blir (RILEY, 1983 b).

4.3.5. Porestørrelsesfordeling

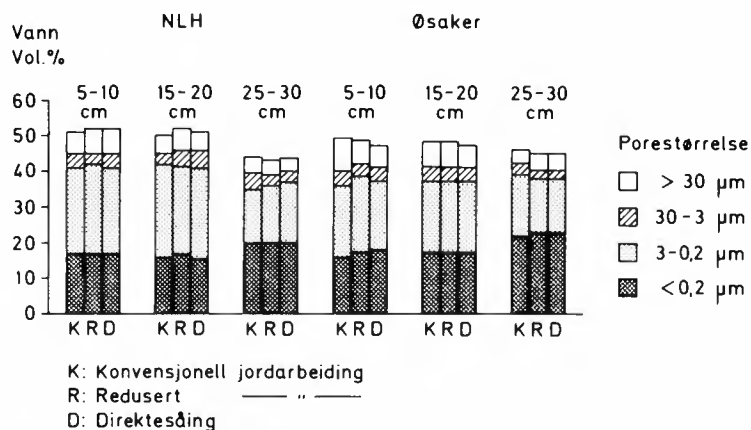
Porestørrelsesfordelingen i jorda etter bruk av ulike jordarbeidingssystem ble bestemt ved pF-analyse som beskrevet i pkt 3.3.4. For å beregne resultatene statistisk ble år brukt som gjentak (i likhet med beregningene for jordtetthet, porevolum og luftvolum). Vanninnholdet ved metning, pF 1.3,

pF 2, pF 3 og pF 4.2 viste ingen signifikante forskjeller for de ulike jordarbeidingssystemene i de tre dybdene 5-10, 15-20 og 25-30 cm. Porestørrelsen er bestemt som ekvivalent porediameter slik at pF 2= 30 μm , pF 3= 3 μm og pF 4.2= 0.2 μm .

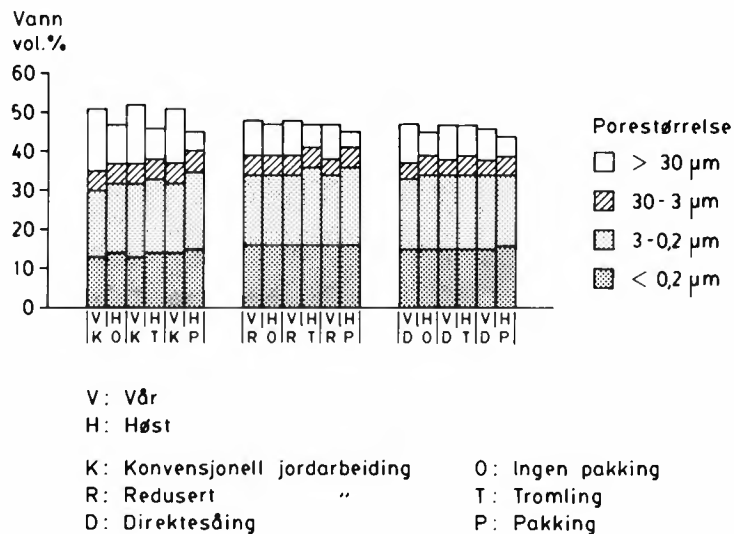
Figur 31 viser porestørrelsesfordelingen for felt 2, NLH, og felt 3, Øsaker. Det er små forskjeller mellom de ulike behandlingene. Det skiller maksimum 2, og ofte under 1, volumprosent mellom jordarbeidingssystemene for de ulike porestørrelser. Disse små differansene tyder på at utelating av pløyinga ikke forårsaker noen stor endring i porestørrelsesfordelingen i jorda om høsten. RASMUSSEN (1981) og RASMUSSEN & OLSEN (1983) viste at det var liten forskjell i porestørrelsen mellom 30-0.2 μm selv om det var mindre drenerbare porer ved redusert sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding.

Figur 32 viser porestørrelsesfordelingen i jorda etter ulik jordarbeiding og pakking på felt 1, NLH. Under behandlingen av porevolumet i jorda var det forskjell på porevolumet om våren og om høsten, spesielt for konvensjonell jordarbeiding. Dette viser også figur 32, i tillegg viser figuren at andelen porer <30 μm øker fra våren til høsten. For flere av behandlingene er dette også tilfelle for porer <3 μm .

Dette viser at porestørrelsen forskyves mot finere porer i løpet av vekstsesongen. Utslaget er tydeligst for konvensjonell jordarbeiding, men også synlig for redusert jordarbeiding og direktesåing, da særlig for grensen 30 μm . Et spørsmål vil være hvor fort denne forskyvingen finner sted. Det er trolig at allerede etter såing er mye av de store porene på pløyd jord brutt ned.



Figur 31. Porestørrelsesfordeling i tre dybder etter ulike jordarbeidingssystem for felt 2, NLH og felt 3, Øsaker. Middell for målingene i 1983 og 1984.



Figur 32. Porestørrelsesfordeling i dybden 10-15 cm, vår og høst etter ulike jordarbeidingssystem og ulik pakking, felt 1, NLH. Middell for målingene i 1983 og 1984.

4.3.6. Innhold av organisk stoff, fosfor, kalium og kalsium i jorda

Innhold av organisk stoff ble bestemt som glødetap med korrigeringsfaktor for leirinnhold. Det var ikke signifikante forskjeller mellom de ulike jordarbeidingsystemer når det gjelder glødetap (tab. 47). Begge felt viser riktignok en økning i glødetap for redusert jordarbeiding og direktesåing, særlig i sjiktet like under overflata. For felt 2, NLH, var variasjonen i målingene stor. RILEY et al. (1985) oppgir en økning i glødetapet på ca 0.7% i sjiktet 0-20 cm på alle felt når pløyinga ble utelatt. Det er bare i sjiktet 0-5 cm (Øsaker) og 0-10 cm (NLH) at disse forsøk viser så stor økning for glødetapet. MARTI (1984) rapporterer om opphoping av organisk materiale nær overflata når jorda ikke pløyes.

P-AL tallet (tab. 47) viser at redusert jordarbeiding og direktesåing har økt innholdet av AL-løselig fosfor i sjiktet 0-5 cm på felt 3, Øsaker, sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. For dette feltet er forholdene motsatt i dybden 5-20 cm. I dybden 0-10 cm viser målingene fra felt 2, NLH, samme tendens, men forskjellene er ikke signifikante.

I sjiktet 0-5 cm på felt 3, Øsaker, og sjiktet 0-10 cm felt 2, NLH, viser K-AL tallet at redusert jordarbeiding og direktesåing har høyere innhold av AL-løselig kalium i toppsjiktet enn konvensjonell jordarbeiding (tab. 47). Dypere ned i matjorda er disse forskjellene borte.

Lignende resultater for innholdet av fosfor og kalium i jorda etter ulike jordarbeidingsystemer er funnet av HODGSON et al. (1977), ELLIS & HOWSE (1980), MARTI (1984) og RILEY et al. (1985). Årsaken til denne ulike fordelingen av næringsstoffer i de øvre 25 cm av jordprofilen for de ulike jordarbeidings-systemene, er plogens evne til å blande og vende jorda.

For kalsium er det ingen signifikante forskjeller mellom behandlingene (tab. 47). For felt 2, NLH, er det liten forskjell i Ca-AL tallene for de ulike behandlingene. Felt 3, viser derimot en stigning i Ca-AL tallet i dybden 15-20 cm ved å utelate pløyinga, men forskjellen er ikke signifikant.

Tabell 47. Glødetap (%), fosfor- (P-AL), kalium- (K-AL) og kalsiuminnhold (Ca-AL) i jord fra felt 2, NLH og felt 3, Øsaker i 1984.

		NLH		Øsaker	
Dybde		0-10cm	10-20cm	0-5cm	5-20cm
Glødetap (%)	Konv	6.5	6.6	4.6	4.7
	Red	6.7	6.8	4.9	4.6
	Dir	7.4	6.9	5.1	4.6
	sn	is	is	is	is
	LSD-5%	-	-	-	-
P-AL	Konv	13.3	14.0	7.6	7.0
	Red	14.7	13.6	9.5	6.6
	Dir	16.3	14.7	8.9	6.3
	sn	is	is	*	is
	LSD-5%	-	-	1.3	-
K-AL	Konv	11.3	10.7	19.3	15.3
	Red	15.7	11.2	24.3	14.7
	Dir	15.7	10.6	25.7	13.8
	sn	is	is	*	is
	LSD-5%	-	-	4.3	-
Ca-AL	Konv	136	141	134	147
	Red	132	140	143	182
	Dir	137	148	152	191
	sn	is	is	is	is
	LSD-5%	-	-	-	-

4.4. KORNAVLING OG KORNKVALITET

For plantevekst foreligger resultater fra tre forsøksfelter. Ett av disse feltene (felt 1) har fått samme behandling som målefeltet for jordtemperatur. De to andre forsøksfeltene fikk bare ulik hovedjordarbeiding (felt 2 og 3). Felt 1 og 2 var plassert på NLH i Ås og felt 3 på Øsaker i Tune.

4.4.1. Avling av korn og halm

Avlingene av korn og halm for felt 2 og 3 er vist i tabell 48.

Tabell 48. Avlinger av korn og halm (kg daa^{-1}) med 15% vann etter ulike jordarbeidingssystem for felt 2 og 3

	År	1983		1984	
		Sted	NLH	Øsaker	NLH
	Vekst	Havre	Bygg	Bygg	Høsthvete
Korn	Konv	726	541	562	534
	Red	702	504	598	520
	Dir	676	521	578	480
	sn	is	is	is	is
	LSD-5%	-	-	-	-
Halm	Konv	527	325	367	238
	Red	522	302	349	275
	Dir	521	298	350	245
	sn	is	is	is	is
	LSD-5%	-	-	-	-

Det var ingen signifikante forskjeller i avlinger hverken for korn eller halm på felt 2 og 3. Avlingsnivået i disse forsøkene har vært høyt. Direktesåing har gitt lavest avling

i år med havre og høsthvete, men ikke i år med bygg. Overraskende er det at bygg reagerer minst negativt på direkte-såing av de tre kornsortene. I høsthveten på Øsaker i 1984 ble det altfor mye ugras og kveke ved direkte-såing sammenlignet med konvensjonell og redusert jordarbeiding. For havren på Ås i 1983 var vanninnholdet i jorda ved såing høyere enn ønskelig, dessuten var det mye regn etter såing. Dette kan ha virket mere negativt for direkte-såing enn for konvensjonell jordarbeiding. MARTI (1984) melder om at de ulike kornsortene ikke har reagert forskjellig på ulik hovedjordarbeiding.

På felt 1 var avlingene av både korn og halm størst etter redusert jordarbeiding, men bare i 1984 var forskjellen signifikant (tab. 49). Når det gjelder felt 1 og den statistiske test for jordarbeidingssystem skal en være klar over at dette feltet ikke hadde statistisk riktig gjentak for behandlingene pga gjennomgående ruter. Pakking har ikke gitt statistisk signifikant utslag i disse to årene. I 1983 har pakking ført til tydelig avlingsnedgang. I 1984 er effekten motsatt, men forskjellen er liten. I 1983 var jorda relativt fuktig ved pakking, mens den i 1984 var forholdsvis tørr. Tromlet og upakket såbed har gitt nærmest like avlinger disse to årene.

Halmavlingene har i disse forsøkene vært mindre påvirket av jordarbeiding enn kornavlingene. Det er heller ikke alltid at størst halmavling følger størst kornavling. I noen av disse forsøkene kan ugras og kveke ha ført til økt "halmavling", men redusert kornavling.

Avlingsresultatene for korn i disse forsøkene viser samme tendens som andre forsøk med ulike jordarbeidingssystemer utført i Norge og Norden ellers (RYDBERG, 1980 a, b, 1982; RASMUSSEN, 1982; RASMUSSEN & OLSEN, 1983; RILEY, 1983 a;

MARTI, 1984 og EKEBERG et al., 1985). I noen av de norske forsøkene settes redusert avling for plogfri jordarbeiding i sammenheng med økt kvekemengde ved disse jordarbeidings-systemene sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. Kveke har sikkert hatt betydning i dette materialet også, men spesielt på øsaker i 1984 førte andre ugras til avlings-reduksjon i høsthveten som var direktesådd.

Tabell 49. Avling av korn og halm (kg daa⁻¹) med 15% vann etter ulik jordarbeiding og ulik pakking for felt 1

	År/vekst Behandling	1983/bygg				1984/havre			
		Konv	Red	Dir	m	Konv	Red	Dir	m
Korn	Upakket	411	444	399	418	601	660	611	624
	Tromlet	427	404	398	409	580	684	608	624
	Pakket	346	381	342	356	599	689	621	636
	m	394	409	379		593	678	613	
Halm	Upakket	272	296	273	280	394	458	412	421
	Tromlet	298	300	286	294	356	433	433	407
	Pakket	232	233	240	234	400	469	409	426
	m	267	275	266		383	454	418	
.....									
		Korn		Halm		Korn		Halm	
		sn	LSD-5%	sn	LSD-5%	sn	LSD-5%	sn	LSD-5%
Pakking	is	-		is	-	is	-	is	-
Jordarb	is	-		is	-	**	31	is	-
Samspill	is	-		is	-	is	-	is	-

For feltene 2 og 3 var nedgangen i avling ca 2% og 5% for henholdsvis redusert jordarbeiding og direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. RILEY (1985) melder om like store avlinger for direktesåing som for konvensjonell jordarbeiding på morene- og leirjord.

4.4.2. Forholdet mellom korn- og halmavling, kornprosent

Kornprosent som er forholdet mellom korn- og halmavling, er beregnet for felt 2 og 3 i tabell 50. Generelt er det liten virkning av jordarbeiding på kornprosenten. Bare i 1983 på felt 3 (Øsaker) er det signifikant høyere kornprosent for direktesåing enn for redusert og konvensjonell jordarbeiding.

Bare de forsøk som er frie for ugras, gir et riktig svar på virkningen av ulike behandlinger på kornprosenten. Ugras vil gi økte halmavlinger fordi en ved vanlig høsting ikke kan skille ugras og halm. Resultatet er at kornprosenten synker. Dette er nok årsaken til mindre kornprosent for redusert jordarbeiding og direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding på Øsaker i 1984. Disse forskjellene er ikke signifikante, men det skyldes trolig varierende ugrasmengder på gjentakene.

Tabell 50. Kornprosent (%) etter ulike jordarbeidingsystem for felt 2 og 3

År	1983		1984	
	Sted	Øsaker	Sted	Øsaker
Vekst	Havre	Bygg	Bygg	Høsthvete
Konv	57.9	62.6	60.5	69.2
Red	57.3	62.6	63.1	65.5
Dir	56.6	63.7	62.3	66.0
sn	is	*	is	is
LSD-5%	-	0.9	-	-

På felt 1 er det ikke signifikante utslag når det gjelder kornprosenten for hverken jordarbeiding eller pakking (tab. 51).

Tabell 51. Kornprosent (%) etter ulik jordarbeiding og ulik pakking for felt 1

År/vekst Behandling	1983/bygg				1984/havre			
	Konv	Red	Dir	m	Konv	Red	Dir	m
Upakket	60.2	60.2	59.3	59.9	60.5	59.2	60.0	59.9
Tromlet	59.2	57.4	58.2	58.3	62.5	61.6	58.8	61.0
Pakket	60.2	62.1	58.2	60.4	60.1	59.5	60.3	60.0
m	59.8	58.8	59.9		61.0	59.7	60.1	
.....								
	sn	LSD-5%			sn	LSD-5%		
Pakking	is	-			is	-		
Jordarb	is	-			is	-		
Samspill	is	-			is	-		

4.4.3. Tørrstoffprosent i korn og halm

Tørrstoffprosent i korn og halm gir et uttrykk for hvor langt kornet har kommet i modningsstadiet. Jordarbeidingsystemene har bare i 1984 for felt 2, NLH, gitt signifikant utslag for tørrstoffprosent i kornet (tab. 52). Likevel er det i flere år lavere tørrstoffprosent i kornet når jordarbeidinga reduseres. Dette er tydelig for direktesåing, men også redusert jordarbeiding har lavere tørrstoffprosent i kornet enn konvensjonell jordarbeiding.

Resultatene for tørrstoffprosent i korn for felt 1 viser den samme generelle tendensen for virkning av jordarbeiding (tab. 53). Direktesåing gir lavere tørrstoffprosent sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding, men forskjellene er ikke signifikante.

Pakking har i 1983 ført til signifikant nedgang i tørrstoffprosent. I 1984 derimot er det signifikant økning i tørrstoffprosent i kornet både for tromling og pakking sammen-

lignet med upakket.

Tørrstoffprosenten i halm viser ingen signifikante utslag hverken for jordarbeiding eller pakking (tab. 52 og 53). Tendensen er likevel at tørrstoffprosenten i halmen avtar med mindre intensiv jordarbeiding. Dette skyldes ikke bare utsatt modning, men i noen tilfeller kan ugras gi store utslag på tørrstoffprosenten i halmen.

Tabell 52. Tørrstoffprosent i korn og halm (%) etter ulike jordarbeidingssystem for felt 2 og 3

År	1983			1984	
	Sted	NLH	Øsaker	NLH	Øsaker
Vekst	Havre	Bygg	Bygg	Høsthvete	
Korn	Konv	79.9	88.1	85.2	88.5
	Red	78.6	86.5	83.2	88.9
	Dir	78.6	86.7	83.0	88.1
	sn	is	is	*	is
	LSD-5%	-	-	1.3	-
Halm	Konv	33.6	68.9	66.1	78.8
	Red	34.0	63.5	61.1	69.1
	Dir	34.5	62.6	55.6	53.2
	sn	is	is	is	is
	LSD-5%	-	-	-	-

Resultatene for tørrstoffprosenten i korn og halm tyder på at kornet modnes seinere når jordarbeidinga reduseres. Dette har noen ganger vært helt tydelig ved visuell bedømmelse av modningsgraden. EKEBERG et al. (1985) konkluderer med at hovedjordarbeidingen ikke har påvirket vanninnholdet i kornet ved høsting på felt med lite kveke. Modningen var derimot avhengig av kvekemengden på feltet. Forsøkene til MARTI (1984) viser heller ingen sammenheng mellom tørrstoffinn-

holdet i kornet og hovedjorarbeiding. Tidspunktet for høsting kan være årsaken til at dette materialet viser en annen tendens enn de refererte forsøkene. Sein høsting vil føre til utjevning av kornets tørrstoffinnhold for de ulike behandlingene.

Tabell 53. Tørrstoffprosent i korn og halm (%) etter ulik jordarbeiding og ulik pakking for felt 1

År/vekst	Behandling	1983/bygg				1984/havre			
		Konv	Red	Dir	m	Konv	Red	Dir	m
Korn	Upakket	86.5	86.7	86.6	86.6	76.4	76.9	75.2	76.2
	Tromlet	86.8	86.4	86.4	86.5	77.9	79.2	77.7	78.3
	Pakket	86.0	86.0	84.8	85.6	77.8	78.6	77.6	78.0
	m	86.4	86.3	85.9		77.4	78.2	76.8	
Halm	Upakket	75.3	73.3	67.6	72.1	41.5	37.6	40.0	39.7
	Tromlet	74.6	71.3	70.4	72.1	40.8	38.4	40.5	39.9
	Pakket	79.6	72.6	69.9	74.0	39.5	39.9	39.9	39.7
	m	76.5	72.4	69.3		40.6	40.1	38.6	
.....									
		Korn		Halm		Korn		Halm	
		sn	LSD-5%	sn	LSD-5%	sn	LSD-5%	sn	LSD-5%
	Pakking	*	0.5	is	-	**	1.3	is	-
	Jordarb	is	-	is	-	is	-	is	-
	Samspill	*	0.6	is	-	is	-	is	-

4.4.4. Hektoliter- og tusenkornvekt

Hektoliter- og tusenkornvekt for kornet er bestemt ved leddvise prøver. Det er derfor ikke foretatt variansanalyser på dette materialet. Det er ingen systematiske tendenser i virkningen av jordarbeiding eller pakking hverken for hektolitervekt eller tusenkornvekt (tab. 54 og 55). De ulike kornsortene som er brukt i disse forsøkene, kan reagere ulikt

for disse egenskapene når de blir utsatt for ulike jordbehandling.

Tabell 54. Hektolitervekt (Hl-vekt, kg) og tusenkornvekt (Tk-vekt, g) etter ulike jordarbeidingsystem for felt 2 og 3

	År	1983			1984	
		Sted	NLH	Øsaker	NLH	Øsaker
		Vekst	Havre	Bygg	Bygg	Høsthvete
Hl-vekt	Konv	61.1	70.3	72.4	82.4	
	Red	60.7	70.1	72.0	82.9	
	Dir	60.9	70.3	72.0	82.4	
Tk-vekt	Konv	35.9	43.5	47.5	39.7	
	Red	36.0	43.3	47.1	39.3	
	Dir	36.2	44.0	45.5	41.7	

Tabell 55. Hektolitervekt (Hl-vekt, kg) og tusenkornvekt (Tk-vekt, g) etter ulike jordarbeiding og ulike pakking for felt 1

År/vekst	Behandling	1983/bygg				1984/havre			
		Konv	Red	Dir	m	Konv	Red	Dir	m
Hl-vekt	Upakket	70.7	72.0	71.1	71.3	58.4	58.4	59.2	58.7
	Tromlet	71.4	71.8	71.6	71.6	59.6	59.4	60.3	59.7
	Pakket	70.9	71.4	70.3	70.9	58.1	59.6	59.4	59.0
	m	71.0	71.7	71.0		58.7	59.1	59.6	
Tk-vekt	Upakket	37.7	39.3	39.2	38.7	42.3	39.5	40.3	40.7
	Tromlet	38.6	38.7	40.0	39.1	40.0	41.3	39.6	40.3
	Pakket	36.5	40.3	40.5	39.1	40.9	38.6	39.2	39.6
	m	37.6	39.4	39.9		41.0	39.8	39.7	

EKEBERG et al. (1985) melder om at hverken hektoliter- eller tusenkornvekt var påvirket av de ulike jordarbeidings-

systemene. Selv om MARTI (1984) viser signifikant utslag for hovedjordarbeiding på begge disse egenskapene i enkelte forsøk og år, gir ikke materialet totalt sett grunn for å påstå at disse forskjellene er reelle. CANNELL et al. (1980) påviste heller ikke noen forskjell i tusenkornvekt for de ulike systemene for jordarbeiding.

4.4.5. Næringsinnhold i korn og halm

Innholdet av nitrogen, fosfor, kalium, magnesium og kalsium er analysert på leddvise prøver. De ulike gjentak ble slått sammen til ei samleprøve som brukes for bestemmelse av kjemisk innhold i plantematerialet. Tabell 56 viser resultatene for nitrogen, fosfor, kalsium og magnesium i korn og halm for felt 2 og 3.

Det er små differanser for innholdet av de ulike næringsstoffer i korn og halm på felt 2 og 3. Det synes likevel som om innholdet av nitrogen i både korn og halm, er noe større for redusert jordarbeiding, men særlig for direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. Virkningen av behandlingene på innholdet av fosfor i kornet synes å variere for både forsøk og år. I halmen kan det derimot være en tendens til at innholdet av fosfor øker når pløyinga utelates. Innholdet av kalsium og magnesium i kornet varierer lite i disse forsøkene.

Tabell 57 viser næringsinnholdet i korn og halm for felt 1. Tallene i tabell 57 er middeltall for behandlingene jordarbeiding og pakking. Tendensen fra felt 2 og 3 for både nitrogen og fosfor finnes også i felt 1. Kaliuminnholdet i kornet viser en liten økning for redusert jordarbeiding og direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding.

Tabell 56. Innhold av nitrogen (N), fosfor (P), kalsium (Ca) og magnesium (Mg) i korn og halm etter ulike jordarbeidings-system for felt 2 og 3 (g/100 g t.s.)

År		1983				1984			
Vekst	Sted	NLH		Øsaker		NLH		Øsaker	
		Havre		Bygg		Bygg		Høsthvete	
		Korn	Halm	Korn	Halm	Korn	Halm	Korn	Halm
N	Konv	1.33	0.21	1.78	0.34	1.61	0.42	1.87	0.34
	Red	1.30	0.17	1.67	0.39	1.66	0.48	1.83	0.49
	Dir	1.38	0.17	1.70	0.48	1.69	0.55	1.98	0.58
P	Konv	.334	.102	.365	.062	.399	.077	.408	.040
	Red	.328	.074	.363	.062	.404	.090	.446	.074
	Dir	.331	.072	.377	.087	.396	.104	.394	.087
Ca	Konv	.07	.31	.04	.36	.04	.33	.04	.22
	Red	.07	.28	.04	.39	.04	.33	.04	.26
	Dir	.07	.28	.04	.43	.04	.33	.04	.30
Mg	Konv	.106	.056	.115	.076	.115	.052	.121	.047
	Red	.105	.042	.116	.075	.114	.051	.124	.062
	Dir	.104	.042	.116	.079	.114	.053	.108	.075

Etterarbeiding eller pakking har ikke gitt noen entydig virkning på næringsinnholdet i korn eller halm.

Resultatene til CANNELL et al. (1980) og MARTI (1984) tyder ikke på at det er noen sammenheng mellom jordarbeiding og innhold av nitrogen og fosfor i kornet. O'SULLIVAN & BALL (1982 a) melder derimot om høyere innhold av nitrogen i kornet for direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. Årsaken til disse forskjellige resultatene kan ligge i modning og høstetidspunkt. I likhet med dette materialet, viste resultatene til O'SULLIVAN & BALL (1982 a)

mindre tørrstoffinnhold i kornet ved direktesåing sammenlignet med pløying.

Tabell 57. Innhold av nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca) og magnesium (Mg) i korn og halm etter ulike jordarbeiding og ulike pakking for felt 1 (g/100 g t.s.)

År/Vekst		1983/bygg			1984/havre		
Jordarb		Konv	Red	Dir	Konv	Red	Dir
Korn	N	1.63	1.59	1.69	1.68	1.78	1.76
	P	.322	.365	.348	.351	.362	.357
	K	.420	.445	.437	.485	.497	.495
	Ca	.05	.05	.05	.08	.07	.07
	Mg	.102	.113	.107	.100	.103	.104
Halm	N	.32	.34	.40	.44	.54	.57
	P	.046	.065	.064	.090	.094	.106
	K	1.34	1.37	1.32	2.55	2.71	2.7
	Ca	.49	.50	.51	.51	.48	.50
	Mg	.036	.052	.044	.050	.062	.055
Pakking		Upakket	Tromlet	Pakket	Upakket	Tromlet	Pakket
Korn	N	1.62	1.64	1.66	1.76	1.74	1.74
	P	.343	.342	.350	.353	.357	.363
	K	.430	.431	.441	.490	.493	.493
	Ca	.05	.05	.05	.07	.08	.07
	Mg	.106	.107	.110	.101	.103	.104
Halm	N	.33	.34	.41	.55	.48	.51
	P	.057	.062	.056	.100	.094	.096
	K	1.34	1.30	1.41	2.71	2.68	2.65
	Ca	.47	.48	.53	.52	.47	.49
	Mg	.041	.045	.047	.056	.053	.058

Næringsopptaket til plantene er beregnet i tabell 58 og 59 for total tørrstoffavling på de tre feltene. På felt 2 og 3 har plantene tatt opp fra 8-10 kg nitrogen pr daa (tab. 58). I 1983 har konvensjonell jordarbeiding størst opptak av nitrogen med 9.2 kg daa⁻¹ i havre og 9.1 kg daa⁻¹ i bygg. Direktesåing og redusert jordarbeiding har størst N-opptak i 1984 med 9.9 kg daa⁻¹ i bygg. I høsthvete på felt 3, Øsaker, er opptaket av N nesten likt for de ulike behandlingene. For fosfor, kalsium og magnesium har opptaket variert med henholdsvis 1.7-2.5, 0.6-1.8 og 0.6-0.9 kg daa⁻¹. Når det gjelder kalsium og magnesium er det havre som tar opp mest og høsthvete minst av de tre kornsortene.

Tabell 58. Næringsopptak i total tørrstoffavling (kg daa⁻¹) etter ulike jordarbeidingssystem for felt 2 og 3

År	1983			1984	
	Sted	NLH	Øsaker	NLH	Øsaker
	Vekst	Havre	Bygg	Bygg	Høsthvete
N	Konv	9.2	9.1	9.0	9.2
	Red	8.5	8.2	9.9	9.2
	Dir	8.7	8.7	9.9	9.3
P	Konv	2.5	1.9	2.2	1.9
	Red	2.3	1.7	2.3	2.1
	Dir	2.2	1.9	2.3	1.8
Ca	Konv	1.8	1.2	1.2	0.6
	Red	1.7	1.2	1.2	0.8
	Dir	1.6	1.3	1.2	0.8
Mg	Konv	0.9	0.7	0.7	0.6
	Red	0.8	0.7	0.7	0.7
	Dir	0.8	0.7	0.7	0.6

På felt 1 er det ikke stor forskjell for næringsopptaket for N, P, K, Mg og Ca i 1983 og 1984 (tabell 59). Det ble tatt opp omtrent dobbelt så mye N, P, K, Ca og Mg i 1984 sammenlignet med 1983. Det var stor forskjell på avlingsnivået disse to årene. I 1984 var avlingene for redusert jordarbeiding store og opptaket av N var tilsvarende høyt, 12.3 kg daa⁻¹. Opptaket av de andre næringsstoffene er av samme grunn tilsvarende høyt for redusert jordarbeiding dette året.

Tabell 59. Næringsstoffopptak i total tørrstoffavling (kg/daa) etter ulik jordarbeiding og ulik pakking for felt 1

År/Vekst		1983/bygg			1984/havre		
Jordarb	Konv	Red	Dir	Konv	Red	Dir	
N	6.2	6.3	6.4	9.9	12.3	11.2	
P	1.2	1.4	1.3	2.1	2.5	2.2	
K	4.5	4.8	4.4	10.8	13.3	12.4	
Ca	1.3	1.3	1.3	2.1	2.7	2.1	
Mg	0.4	0.5	0.4	0.7	0.8	0.7	

Pakking	Upakket	Tromlet	Pakket	Upakket	Tromlet	Pakket
N	6.5	6.6	5.8	11.3	10.9	11.3
P	1.4	1.3	1.2	2.2	2.2	2.3
K	4.7	4.8	4.1	12.3	11.9	12.3
Ca	1.3	1.4	1.2	2.2	2.1	2.2
Mg	0.5	0.5	0.4	0.7	0.7	0.8

4.4.6. Kveke og andre ugras

Prosentvis dekning av ugras og kveke på forsøksrutene for de ulike jordarbeidingsystemene på felt 2 og 3 er vist i tabell 60. Det er ingen signifikante forskjeller for jordarbeiding når det gjelder ugras, men det er tydelig at når jordarbeidinga reduseres, øker ugrasmengden. En variansanalyse på variabler som ugras og kveke, gir sjelden signifikant utslag

fordi forsøksfeilen som regel er veldig stor. Der ugrasmengden har økt har det vært rotugras som åkerdylle (Sonchus arvensis, L), åkertistel (Cirsium arvense, L) og løvetann (Taraxacum officinale, Web) som har etablert seg.

Kvekemengden har økt når jorda er blitt direktesådd. Økningen har vært signifikant ett av forsøksårene på Øsaker. Dette året var det også mye hundegras (Dactylis glomerata, L) i kornet på Øsaker, henholdsvis 3, 5 og 37% for konvensjonell, redusert jordarbeiding og direktesåing (signifikansnivå ***, LSD-5% = 10). Hundegraset hadde kommet inn pga at området lå i eng før dette forsøket startet. Ugrasmengden førte til redusert avling for direktesåing på dette feltet.

Tabell 60. Kveke og andre ugras, prosent dekning etter ulike jordarbeidingssystemer for felt 2 og 3

År	1983			1984	
	Sted	NLH	Øsaker	NLH	Øsaker
Vekst	Havre	Bygg	Bygg	Høsthvete	
Kveke	Konv	0	0	2	0
	Red	0	0	2	3
	Dir	3	0	12	4
	sn	is	is	is	***
	LSD-5%	-	-	-	3.2
Ugras	Konv	0	0	2	1
	Red	0	0	2	3
	Dir	3	0	5	17
	sn	is	is	is	is
	LSD-5%	-	-	-	-

På felt 1 førte både redusert jordarbeiding og direktesåing til økt ugras- og kvekemengde sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding (tab. 61). Det er bare i 1983 at forskjellene i

ugrasmengde er signifikante. Pakking har ikke betydd noe hverken for ugras- eller kvekemengde.

Å holde mengden av kveke og annet rotugras under kontroll er vanskelig når en ikke pløyer eller foretar annen dyp jordarbeiding (RILEY, 1983 a; MARTI, 1984; EKEBERG et al., 1985). Ved direktesåing flere år på rad synes det umulig å unngå bruk av kjemiske ugrasmidler mot kveke og annet rotugras. Leddet med redusert jordarbeiding er i disse forsøkene bearbeidet til ca 5 cm dybde. Denne grunne jordarbeidingen har betydd mye for å holde kveka under kontroll.

Tabell 61. Kveke og andre ugras, prosent dekning, etter ulik jordarbeiding og ulik pakking for felt 1

År/vekst	Behandling	1983/bygg				1984/havre			
		Konv	Red	Dir	m	Konv	Red	Dir	m
Kveke	Upakket	0	5	13	6	0	3	3	2
	Tromlet	3	8	8	7	0	0	8	3
	Pakket	2	3	15	7	0	2	3	2
	m	2	5	12		0	2	5	
Ugras	Upakket	0	3	5	3	2	3	7	4
	Tromlet	0	3	5	3	2	5	8	5
	Pakket	0	3	5	3	0	2	7	3
	m	0	3	5		1	3	7	

	Kveke		Ugras		Kveke		Ugras	
	sn	LSD-5%	sn	LSD-5%	sn	LSD-5%	sn	LSD-5%
Pakking	is	-	is	-	is	-	is	-
Jordarb	is	-	*	3.8	is	-	is	-
Samspill	is	-	is	-	is	-	is	-

4.5 SAMLET VURDERING

Jordarbeiding påvirker både de fysiske og kjemiske forholdene i jorda. Det er særlig i plogsjiktet, 0-25 cm, at endringene finner sted. Bearbeidingsdybden ved de ulike jordarbeidingsmetodene er en viktig årsak til dette. Forandringene i jordas fysiske og kjemiske egenskaper inntreer ikke momentant, men over tid. En må også være oppmerksom på at virkningene kan være forskjellig på kort og lang sikt (DOUGLAS et al., 1985).

De forsøkene som inngikk i dette arbeidet, var bare forsøksbehandlet ett år før målingene startet. Ved vurdering av resultatene må en ta hensyn til den korte behandlingsperioden i dette materialet. Til sammenligning kan nevnes at flere av forsøkene til MARTI (1984) hadde en varighet på 7 år. RILEY et al. (1985) målte de fysiske egenskapene i jorda 4-6 år etter at forsøket startet. Utenlandske forsøksserier som gjelder plogfri jordarbeiding har ofte vært av enda lengre varighet.

Materialet for denne avhandlingen er hentet fra forsøk på NLH i Ås og Øsaker i Tune, men målingene for jordtemperatur og jordfuktighet er bare utført i Ås. Jordtype og klima er to avgjørende faktorer ved valg av jordarbeidingsystem (CANNELL, 1981). Begge forsøksstedene, Ås og Øsaker, har relativt gunstig klima og jordtype for redusert jordarbeiding og direktesåing. Dette begrenser bruken av resultatene for jordarbeidings spørsmål i andre landsdeler og på andre jordarter. I så måte er det viktig å se dette materialet som en utfylling til de forsøks serier om plogfri jordarbeiding, som tidligere er utført i Norge.

Jordvariasjonen på forsøksstedet betyr mye i feltforsøk, særlig når en opererer med punktmålinger i jorda. HELDAL &

KVIFTE (1962) målte jordtemperaturens horisontale variasjon under gras og åpen jord i dybdene 5, 10, 20 og 40 cm. De horisontale temperaturvariasjonene var størst ved stor innstråling og i den minste dybden. I dette forsøket ble det i 1983 brukt paralleller ved målinger av jordtemperaturen, men ikke i 1984. År og periode ble brukt som gjentak i variansanalysen av dataene for jordtemperatur. Termoelementene ble tatt opp av jorda ved jordarbeiding. Plasseringen på måleruta er derfor forskjellig for de to årene målingene pågikk.

Det var stort sett ikke signifikante forskjeller i avlinger hverken av korn eller halm i disse forsøkene. I middel hadde redusert jordarbeiding 2% større og direktesåing 3% mindre avling av korn enn konvensjonell jordarbeiding.

Avlingene vil være et resultat av mange faktorer. I et jordarbeidingsforsøk er det først og fremst de faktorene som er knyttet til jorda, som endres. For plantene betyr dette ulike betingelser for spiring, rotvekst, næringsopptak, vannopptak etc.

De volumetriske målingene i jorda viste i likhet med avlingsresultatene, små forskjeller for de ulike behandlingene. Det er mulig forsøksperioden har vært for kort til å oppnå forskjeller i jordstrukturen. Her skal en likevel merke seg målingene av jordtetthet, porevolum, luftvolum og porestørrelsesfordeling på felt 1, NLH, som viste at utslaget for pløying var stort om våren, men nærmest borte etter høsting. De volumetriske målingene for direktesådd jord viste ingen forandringer fra 1983 til 1984.

På leirjorda (felt 3, Øsaker) var trykkfastheten større i sjiktet 0-25 cm når jorda ikke var pløyd. Det var imidlertid ingen vesentlige endringer i trykkfastheten fra 1983 til 1984 for den oppløyde jorda på felt 3, når en tar hensyn til

vanninnholdet i jorda ved tidspunktet for måling. Feltene på NLH viste også økt trykkfasthet i plogsjiktet når jorda ikke ble pløyd, men økningen var ikke signifikant i alle dybder. Den økte trykkfastheten etter direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding, har neppe virket inn på avlingene eller rotutviklingen i årene 1983 og 1984.

Målingene av vanninnholdet og vannsuget (matrixsuget) i jorda viste at plantene har hatt tilgang på nok vann gjennom hele vekstperioden disse to årene. Det var praktisk talt ingen uttørking av jorda dypere ned enn 60 cm. Dette er ikke ensbetydende med at plantene ikke var utsatt for perioder med vannmangel. Sperresjikt for røttene kan gi samme utslaget, men profilbeskrivelsen for felt 1, NLH, viste at det hadde vært en viss rotutvikling under 60 cm dybde.

Måling av vannlagringsevnen i de øvre 25 cm av jorda viser små forskjeller mellom de ulike jordarbeidingsystemene. Det er lite trolig at en liten endring i det nyttbare vannlaget vil bety noe for planteveksten, særlig ikke med de nedbørsforholdene en hadde i 1983 og 1984 (GOSS et al., 1978; O'SULLIVAN & BALL, 1982 a). Det som kan bety langt mer for plantenes vannforsyning, er redusert fordampning fra direkte-sådd jord med halmdekke sammenlignet med pløyd jord. Spireråmen bevares bedre i direktesådd jord enn i konvensjonelt arbeidet jord (HILL & BLEVINS, 1973).

Jordas termiske egenskaper og temperaturregime var påvirket av jordarbeidingsmetode. Det er særlig i perioden fra såing til spiring, men også tiden etter spiring, disse forskjellene i jordtemperatur vil være til stede. Seinere vil plantedekket bety mer for jordtemperaturen enn jordstrukturen (GAUER et al., 1982; WALL & STOBBE, 1984; CARTER & RENNIE, 1985). Det var helt tydelig at halm senket temperaturen i jorda i hele sjiktet 0-24 cm. Maksimumstemperaturen ble redusert enda mer

enn middeltemperaturen. Selv uten halmdekke var maksimums-temperaturen lavere for direktesåing enn for konvensjonell jordarbeiding. Forskjellene i døgnmiddeltemperatur var imidlertid liten i bar jord for de ulike hovedjordarbeidingene.

Hvilken betydning dette kan ha for planteveksten og den endelige avlingen, er vanskelig å si noe sikkert om. Jordtemperaturen i de øvre 6 cm betyr mye, særlig ved spiring av frøene (SPRAGUE, 1943). På alle tre feltene som var med i disse undersøkelsene, var spiringen en til to dager seinere for direktesådd korn sammenlignet med korn sådd i frest eller konvensjonelt arbeidet jord. VAN WIJK et al. (1959) og DUNCAN et al. (1972) rapporterer lignende resultater ved direktesåing i halmrester sammenlignet med såing i bar jord. Dette henger trolig sammen med nedsatt temperatur i spiresjiktet (MOODY et al. 1963). Utsatt modning er på samme måte iaktatt for direktesåing i disse forsøkene. I tørre år kan redusert fordampning føre til en lengre vekstperiode pga større vannforsyning for direktesådd sammenlignet med pløyd jord. I 1983 og 1984 var, som tidligere nevnt, nedbøren relativt rikelig og jevnt fordelt i vekstsesongen. Det er derfor naturlig å se utsatt modning i samband med forsinket spiring i disse forsøkene. Tørrstoffprosenten i korn og halm ved høsting indikerer også seinere modning av kornet ved direktesåing sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding.

Kornet har spirt like raskt etter redusert som etter konvensjonell jordarbeiding. Mellom disse to behandlingene var det også liten forskjell i jordtemperatur i dybdene 2 og 6 cm.

Dårligere spiring er nettopp et av problemene ved direktesåing av korn i tempererte områder (BAEUMER & BAKERMANS, 1973). Det var ikke synlige forskjeller i antall spirer pr arealenhet for behandlingene på disse feltene, men det er

sannsynlig at spirehastigheten har vært mindre etter direkte-såing. Det er særlig halmen som har stått i fokus når det gjelder spirehemming. Halmen kan påvirke spiringen på mange måter; utskille spirehemmende stoffer, overføre rester av plantevernmidler, senke jordtemperaturen, bryte kontakten jord - frø etc. De forsøk som er gjort med dette, tyder på at det er en kombinasjonseffekt av flere faktorer som er årsak til den dårligere oppspiringen ved direktesåing i halm sammenlignet med såing i bearbeidet, bar jord (BAEUMER & BAKERMANS, 1973).

Jordas termiske diffusivitet er beregnet ut fra temperatur-observasjonene. Virkningen av hovedjordarbeiding begrenser seg til sjiktet 2-6 cm, ikke dypere ned. Redusert jordarbeiding skilte seg ut med lavere termisk diffusivitet enn de to andre jordarbeidingssystemene. Årsaken er kanskje et såbed bestående av store aggregater etter redusert jordarbeiding. Både etter pakking og under halmdekke var termisk diffusivitet større i 2-6 og 6-24 cm dybde sammenlignet med henholdsvis ikke pakking og ikke halmdekke.

Volumetrisk varmekapasitet i sjiktet 2-6 cm var størst for direktesådd og minst for pløyd jord. Det var større virkning av pakking og halmdekking enn av jordarbeidingsystemene. Halmdekket jord hadde høyere volumetrisk varmekapasitet i 6-24 cm dybde enn bar jord. Årsaken til dette var høyere vanninnhold i halmdekket enn i bar jorda.

Varmeledningsevnen ble beregnet ut fra termisk diffusivitet og volumetrisk varmekapasitet i jorda. Varmeledningsevne var mer påvirket av halmdekking og pakking enn jordarbeidings-system. Både under halmdekke og etter pakking var varmeledningsevnen større i sjiktene 2-6 og 6-24 cm enn for henholdsvis bar og upakket jord. Varmeledningsevnen i sjiktet 2-6 cm var større etter direktesåing og lavere etter redusert

jordarbeiding enn etter konvensjonell jordarbeiding.

For et konvensjonelt såbed med ulik behandling etter såing er det pakking som har gitt størst utslag på de termiske egenskapene og temperaturforholdene i jorda. Tromling ga som regel en litt svakere virkning enn pakking.

Disse temperaturmålingene viste at det var halm på overflata som betydde mest for temperaturregimet i jorda av de behandlingene som ble prøvd. Pakking av jorda hadde også større virkning på temperaturregimet enn jordarbeidingsystem. Halmdekking betydde også mye for jordas termiske egenskaper i dette forsøket. Dette var først og fremst et utslag av høyere vanninnhold under halm enn i bar jord.

Selv om avlingene generelt ikke var påvirket av jordarbeidingsystem i disse forsøkene, var ugrasmengden stor på enkelte ledd. Det kan ventes at avlingene vil bli påvirket på lengre sikt (MARTI, 1984; EKEBERG et al., 1985). Kveke og andre ugras gir ved variansanalyse sjelden signifikante utslag. Årsaken er den høye variasjonskoeffisienten (150-200%) en får ved slike bestemmelser. Selv om mengden av ugras ikke var like kritisk på alle feltene, viste disse kortvarige forsøkene at ugraskampen krever mer påpasselighet og mer bruk av kjemiske ugrasmidler ved direktesåing sammenlignet med redusert og konvensjonell jordarbeiding.

Redusert jordarbeiding og direktesåing ble først utviklet i tørre og halvtørre områder for å hindre vinderosjon (WOODRUFF & SIDDOWAY, 1973). I et klima med stor nedbør om høsten er jorda utsatt for pakking og overflata kan ødelegges av hjulspor etter høstarbeidene. Ved direktesåing må overflata være forholdsvis jevn. I fuktige områder er ugras et langt større problem enn i tørre og halvtørre områder. Både med hensyn til jordtap, energi- og tidsforbruk har redusert

jordarbeiding og direktesåing vist seg effektive (SPRAUGE & TRIPLETT, 1986). I Norge er det områder hvor disse jordarbeidingssystemene har sin berettigelse for å redusere jordtapet. I høstkorndyrkingen kan spesielt direktesåing eliminere problemene med å få sådd i rett tid. Også i Norge er det et behov for å ta i bruk disse jordarbeidingssystemene. Det er derfor viktig å finne en jordarbeidingsteknikk som fungerer under våre jord- og klimaforhold og som i tillegg opprettholder avlingsnivået.

5. SAMMENDRAG

Det ble anlagt tre forsøk på to steder, Ås og Tune, med tre ulike jordarbeidingssystem; konvensjonell jordarbeiding (med pløying), redusert jordarbeiding (uten pløying, bare harving) og direkte-såing (uten jordarbeiding). Feltene ble anlagt til vekstsesongen 1982 og resultatene i denne oppgaven er fra de to påfølgende år. Feltene ble drevet i rene kornomløp med bygg, havre og høsthvete.

På felt 1, NLH i Ås, ble de ulike jordarbeidingssystem kombinert med ulik pakking av såbedet etter såing, samt i ett av årene ulik halmdekking. På dette feltet ble jordtemperaturen målt med termoelementer i 2, 6 og 24 cm dybde etter de forskjellige behandlingene, uten plantevekst. Jordtemperaturen ble målt hver time. Målingene ga grunnlag for å beregne termisk diffusivitet, varmeledningsevne, middel-, minimums- og maksimumstemperatur i jorda for visse perioder. Volumetrisk varmekapasitet ble beregnet ut fra volumetriske målinger av jorda. På felt 1 var det også et område med vekst. Dette feltet hadde fått samme behandling som området for temperaturregistrering med unntak av halmdekking. Fuktighetsforholdene i jord med vekst ble målt med tensiometer og nøytronmeter.

De to andre feltene, felt 2, NLH i Ås og felt 3, Øsaker i Tune, ble anlagt for å følge planteveksten og utviklingen av de fysiske og kjemiske jordparametrene i mer detalj. Forsøksbehandlingen på disse feltene var de tre jordarbeidings-systemene.

Jorda på felt 1 var ei mellomleire (0-24 cm) over ei siltig lettleire (24-35 cm), på felt 2 ei siltig mellomleire (0-20 cm) over ei siltig lettleire (20-51 cm) og på felt 3 ei mellomleire (0-23 cm) over ei stiv leire (23-35 cm).

Kornavlingene på de tre forsøksfeltene viste at avlingsnivået ble opprettholdt selv om jordarbeidinga ble redusert. Forskjellene i avling mellom jordarbeidingssystemene var små. Totalt har redusert jordarbeiding gitt størst kornavling (568 kg/daa). Konvensjonell jordarbeiding hadde under 2% og direktesåing under 5 % mindre avling.

Redusert jordarbeiding og spesielt direktesåing har senket tørrstoffinnholdet i korn og halm. Nedgangen i tørrstoffinnhold er ikke signifikant, men er likevel tydelig de fleste år. Det har vært mulig å observere at kornet på pløyd jord utvikles raskere sammenlignet med korn som ble direktesådd.

I disse forsøkene viste det seg at kveke og noen andre rotugras var vanskelige å holde under kontroll på jord som ble direkte-sådd. Redusert jordarbeiding med harving til 5 cm dybde gjorde kontrollen med kveka langt lettere sammenlignet med direktesåing. Når all jordarbeiding ble sløyfet, måtte rotugras bekjempes med kjemiske plantevernmidler.

I 1983 og 1984 var nedbøren relativt rikelig og jevnt fordelt i vekstsesongen slik at det ikke var noen langvarige tørkeperioder. Målingene av jordfuktighet ga små utslag samtidig som uttørkingen nedover i profilet, under 60 cm, var minimal begge år. Målingene tydet på stor jordvariasjon i undergrunnen.

Bare i de øvre 5 cm av såbedet var mengden av nyttbart vann påvirket av jordarbeidingssystem. Nyttbar vannmengde var størst for direktesåing og minst for konvensjonell jordarbeiding. I sjiktet 0-25 cm av jorda var det liten virkningen av de ulike jordarbeidingssystemene på fysisk nyttbar vannmengde. Dette var også tilfelle for vanninnhold ved de ulike pF-grenser. Etter pakking av såbedet var mengden nyttbart vann i de øvre 20 cm av jorda større enn uten pakking.

Det har vært små utslag for jordarbeiding på jordas tetthet, porevolum og luftvolum i de øvre 30 cm av jorda. For leirjorda på Øsaker var det en nedgang i porevolum og økning i jordtetthet i sjiktet 5-10 cm når pløyninga ble sløyfet. Trykkfastheten var høyere i 0-20 cm dybde i upløydt sammenlignet med pløyd jord.

Volumetriske målinger vår og høst på felt 1 viste at jord som ikke ble pløyd om høsten, fikk økt porevolum og redusert tetthet i løpet av vinteren. Denne virkningen var likevel langt mindre enn løsningseffekten av høstpløyning. Porevolum og tetthet var etter høsting av kornet lik for høstpløyd og upløyd jord.

Innholdet av fosfor og kalium i 0-5 cm dybde i leirjorda på Øsaker var signifikant mindre for pløyd enn upløyd jord. Felt 2, NLH, viste de samme tendenser for fosfor og kalium i 0-10 cm dybde, men her var ikke forskjellene signifikante.

Middeltemperaturen i dybdene 2, 6 og 24 cm for mai var lite påvirket av jordarbeidingssystem. Pakking har gitt noe høyere middeltemperatur i både 6 og 24 cm dybde sammenlignet med ikke pakking. Halmdekke på overflata senket middeltemperaturen i mai 2.5, 1.9 og 1.4 °C i henholdsvis dybdene 2, 6 og 24 cm.

Direktesåing senket maksimumstemperaturen og hevet minimumstemperaturen i 2 og 6 cm dybde sammenlignet med konvensjonell jordarbeiding. Pakking og tromling av konvensjonelt såbed hevet minimumstemperaturen i de tre dybdene dessuten var maksimumstemperaturen lavere i 2 og 6 cm dybde, men høyere i 24 cm dybde sammenlignet med upakket jord. Halmdekking reduserte maksimumstemperaturen 7.7, 4.9 og 1.8 °C i dybdene 2, 6 og 24 cm og hevet minimumstemperaturen i 2 og 6 cm dybde med 1.3 og 0.3 °C, mens den i 24 cm dybde ble senket

0.9 °C sammenlignet med bar jord uansett jordbehandling.

Jordarbeidingssystemene påvirket jordas termiske egenskaper bare i de øvre 6 cm, men pakking og halmdekking ga utslag i sjiktet 6-24 cm. Direktesåing hadde i middel høyere volumetrisk varmekapasitet, varmeledningsevne og termisk diffusivitet enn de to andre jordarbeidingssystemene i sjiktet 2-6 cm. Mellom konvensjonell jordarbeiding og direktesåing var ikke forskjellene i varmeledningsevne og termisk diffusivitet signifikante. I dette sjiktet hadde redusert jordarbeiding lavest termisk diffusivitet og varmeledningsevne, mens konvensjonell jordarbeiding hadde minst volumetrisk varmekapasitet. Halmdekking førte til større volumetrisk varmekapasitet, varmeledningsevne og termisk diffusivitet i både 2-6 og 6-24 cm dybde. Dette gjelder også for pakking med unntak av volumetrisk varmekapasitet i dybden 6-24 cm. Tromling av et konvensjonelt såbed betydde ikke så mye for de termiske egenskapene som pakking av jorda med traktor.

6. SUMMARY

The thesis comprises results from three field experiments with three tillage systems. These were conventional tillage (ploughing followed by harrowing), reduced tillage (without ploughing, but with harrowing) and no tillage (direct-drilling). The experiments were started in 1982. They were situated in south-eastern Norway, two in Ås (59°40' N and 10°46' E), Akershus and one in Tune (59°19' N 11°02' E), Østfold. Experimental results were collected during the years 1983 and 1984. The crops were barley (Hordeum vulgare L.), oats (Avena sativa L.) and winter wheat (Triticum aestivum L.).

In addition to the three tillage system treatments, experiment 1 (Ås) included soil compaction and mulching. Soil temperatures were measured with thermocouples every hour at 2, 6 and 24 cm depths in bare soil. Soil thermal parameters were calculated from the temperature and volumetric measurements of the soil. Measurements of other soil physical parameters and crop yields were made on other plots.

From the two other field experiments, which included only the three tillage system treatments, information about changes in soil physical and chemical conditions, as well as yield data, were obtained.

The soil of field experiment 1 (Ås) was a clay loam (0-24 cm) overlying silt loam (24-35 cm). In field experiment 2 (Ås) the soil was classified as a silty clay loam (0-20 cm) over silt loam (20-51 cm) and in field experiment 3 (Tune) the soil was clay loam (0-23 cm) over clay (23-35 cm).

Differences in yield between tillage systems were not statistically significant. The average grain yield for reduced tillage was 5680 kg per ha, while yields for conventional tillage and direct drilling were about 2 and 5 percent lower, respectively. Reduced tillage, and especially direct-drilling, reduced the dry matter content of both grain and straw as compared with conventional tillage. It was observed that maturing was delayed on direct-drilled plots.

Couch grass (Elytrigia Repens L. Nevski) and some other perennial weeds were difficult to control where no tillage was practiced. On direct drilled plots weed control by herbicides was necessary.

There was no significant difference in soil moisture content between the tillage treatments. This may have been due to the absence of dry spells during the experimental period.

The available water capacity, (pF 2 - pF 4.2) was only influenced by the tillage system within the upper 5 cm of soil. The highest and lowest amounts of available water were found with direct-drilling and conventional tillage, respectively. The effect of tillage systems on the total amount of available water in the 0-25 cm soil layer was negligible. Compaction of the seedbed increased the available water capacity in the 0-20 cm soil layer.

The differences between tillage systems in bulk density, total porosity and air capacity at pF 2 in 0-30 cm layer of the soil in field experiments 2 (Ås) and 3 (Tune), were not significant. Ploughing decreased the penetration resistance in the topsoil (0-20 cm). In field experiment 1 (Ås) the sampling for volumetric measurements was carried out before tillage in the spring and after harvest in the autumn. The unploughed soil was loosened by frost during the winter.

However, this effect was far less than the loosening achieved by autumn ploughing. At the end of the growing season these differences in porosity and bulk density had disappeared.

The contents of soluble phosphorus and potassium were significantly higher in the 0-5 cm layer in field experiment 3 (Tune) for both reduced tillage and direct-drilling as compared with conventional tillage. Field experiment 2 (Ås) showed similar results, although the differences there were not significant.

The influence of different tillage system on the mean soil temperature was small. However, compaction raised the mean temperature at both 6 and 24 cm depth. Mulching with 4000 kg straw per ha reduced the mean temperature in May by 2.5, 1.9, 1.4 °C at 2, 6 and 24 cm depth, respectively.

Direct-drilling reduced the maximum and raised the minimum temperature at 2 and 6 cm depths, as compared with conventional tillage. Both compaction by tractor wheels and rolling the seedbed with a Cambridge roller, resulted in higher minimum and lower maximum temperatures, except at 24 cm depth, where the maximum temperature was increased. Mulching lowered the maximum soil temperature in May by 7.7, 4.9 and 1.8 °C at 2, 6 and 24 cm depths, respectively. The minimum temperature was increased with mulching by 1.3 and 0.3 °C at 2 and 6 cm depths, but was decreased at 24 cm depth.

The thermal properties of the soil were influenced by the different tillage systems in the 2-6 cm soil layer. Both soil compaction and mulching caused changes in these properties down to 24 cm depth. Direct-drilling increased the volumetric heat capacity, thermal conductivity and thermal diffusivity in the 2-6 cm soil layer in relation to the other treatments.

The heat capacity, thermal conductivity and thermal diffusivity down to 24 cm, were all higher in soil covered by plant residues than in bare soil. The compaction treatment showed the same effect, with the exception of the volumetric heat capacity in the 6-24 cm layer. Rolling after sowing in conventionally tilled soil, changed the soil thermal properties less than compaction by tractor wheels.

7. LITTERATUR

- Agboola, A. A. 1981. The effects of different soil tillage and management practices on the physical and chemical properties of soil and maize yield in a rainforest zone of Western Nigeria. *Agron. J.* 73: 247-251
- Allmaras, R. R., W. W. Nelson & E. A. Hallauer 1972. Fall versus spring plowing and related soil heat balance in the western Corn Belt. *Minn. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 283: 1-22
- Allmaras, R. R., E. A. Hallauer, W. W. Nelson & S. D. Evans 1977. Surface energy balance and soil thermal property modifications by tillage-induced soil structure. *Minn. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 306: 1-40
- Allmaras, R. R. & R. H. Dowdy 1985. Conservation tillage systems and their adoption in the United States. *Soil and Tillage Res.* 5: 197-222
- Anderson, G., J. D. Pidgeon, H. B. Spencer & R. Parks 1980. A new hand-held recording penetrometer for soil studies. *J. Soil Sci.* 31: 279-296
- ASAE 1962. Minimum tillage seminar. University of Illinois: 20p
- ASAE 1963. Seminar on minimum tillage and tillage research methods. Auburn. Ala.: 42p
- ASAE 1964. Seminar on minimum tillage and research methods. Wooster, Ohio: 26p
- Baeumer, K. & W. A. P. Bakermans 1973. Zero tillage. *Adv. Agron.* 25: 77-120
- Bakermans, W. A. P. & C. T. de Wit 1970. Crop husbandry on naturally compacted soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 18: 225-246
- Ball, B. C. & M. F. O'Sullivan 1982. The characterisation of pores in ploughed and direct drilled soils in Scotland. *Proc. 9th Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia:* 396-401

- Ball, B. C., M. F. O'Sullivan & R. W. Lang 1985. Cultivation and nitrogen requirement for winter barley as assessed from a reduced tillage experiment on a brown forest soil. *Soil and Tillage Res.* 6: 95-109
- Barley, K. P. 1954 Effects of root growth and decay on the permeability of a synthetic sandy loam. *Soil Sci.* 78: 205-210
- Barnes, B. T. & F. B. Ellis 1979. Effects of different methods of cultivation and direct drilling, and disposal of straw residues, on populations of earthworms. *J. Soil Sci.* 30: 669-679
- Bennett, H. H. 1939. *Soil conservation.* McGraw-Hill, New York
- Blevins, R. L., D. Cook, S. H. Phillips & R. E. Phillips 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agron. J.* 63: 593-596
- Blevins, R. L., G. W. Thomas, M. S. Smith, W. W. Frye & P. L. Cornelius 1983. Changes in soil properties after 10 years no-tilled and conventionally tilled corn. *Soil and Tillage Res.* 3: 135-146
- Bodet, J. M., J. M. Nolot, J. Perroy & J. R. Fourbet 1976. Présentation des essais. In: *Compte-Rendus du Colloque: Simplification du Travail du Sol en Production Céréalière.* Institute Technique des Céréales et des Fourragères, Paris: 23-71
- de Boodt, M. 1967. Gravimetric determination of soil moisture. *West-European methods for soil structure determination.* M. de Boodt (ed.). Gent: V29
- Bouyoucos, G. J. 1913. An investigation of soil temperature and some of the most important factors influencing it. *Mich. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 17: 1-196
- Bowers, S. A. & R. J. Hanks 1965. Reflection of radiant energy from soils. *Soil Sci.* 100: 130-138
- Brengle, K. G. & C. J. Whitfield 1969. Effect of soil temperature on the growth of spring wheat with and

- without wheat straw mulch. *Agron. J.* 61: 377-379
- Bruun, J. 1967. Standard normals 1931-1960 of the air temperature in Norway. Det norske meteorologiske institutt, Oslo: 54s
- Burrows, W. C. & W. E. Larson 1962. Effect of amount of mulch on soil temperature and early growth of corn. *Agron. J.* 54: 19-23
- Burrows, W. C. 1963. Characterization of soil temperature distribution from various tillage induced microreliefs. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 350-353
- Cannell, R. Q. & F. B. Ellis 1977. Review of progress on research on reduced cultivation and direct drilling. *Agric. Res. Coun. Letcombe Lab. Ann. Rep.* 1976: 25-27
- Cannell, R. Q., F. B. Ellis, D. G. Christian, J. P. Graham & J. T. Douglas 1980. The growth and yield of winter cereals after direct drilling, shallow cultivation and ploughing on non-calcareous clay soils, 1974-1978. *J. Agric. Sci.* 94: 345-359
- Cannell, R. Q. 1981. Potentials and problems of simplified cultivation and conservation tillage. *Outl. Agric.* 10: 379-384
- Cannell, R. Q. 1985. Reduced tillage in North-West Europe - A review. *Soil and Tillage Res.* 5: 129-177
- Cannon, W. A. 1917. Soil temperature and plant growth. *Plant World* 20: 361-363
- Carter, M. R. & D. A. Rennie 1985. Soil temperature under zero tillage systems for wheat in Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 65: 329-338
- Chirkov, Y. I. 1979. Soil climate. In: *Agrometeorology*. J. Seemann, Y. I. Chirkov, J. Lomas & B. Primault (ed.). Springer - Verlag, Berlin, New York: 131-139
- Cooper, A. J. 1973. Root temperature and plant growth. *Research Review no 4*. Commonwealth Bureau of Horticulture and Planting Crops: 73p
- Coulson, K. L. & D. W. Reynolds 1971. The spectral

- reflectance of natural surface. *J. Appl. Met.* 10: 1285-1295
- Dale, R. F. & R. H. Shaw 1965. The effect on corn yields of moisture stress and stand at two fertility levels. *Agron. J.* 57: 475-479
- Dehérain, P. P. 1893. Le travail du sol et la nitrification. *Annls. Agron.* 19: 401-417
- Dehérain, P. P. 1896. Sur le travail du sol, I. *Annls. Agron.* 22: 449-469
- Dehérain, P. P. 1897. Sur le travail du sol, II. *Annls. Agron.* 23: 216-229
- Dehérain, P. P. 1898. Sur le travail du sol, III. *Annls. Agron.* 24: 449-481
- Det norske meteorologiske institutt. 1983. Klimatiske månedsoversikter for januar til desember.
- Det norske meteorologiske institutt. 1984. Klimatiske månedsoversikter for januar til desember.
- Dewey, S. A. & L. O. Baker 1978. Influence of no-till cropping on soil moisture, temperature, and yield of winter wheat. *Proceedings of the Western Society of Weed Science* 31: p158
- Douglas, J. T., M. J. Goss & D. Hill 1980. Measurements of pore characteristics in a clay soil under ploughing and direct drilling, including use of a radioactive tracer (^{144}Ce) technique. *Soil and Tillage Res.* 1: 11-18
- Douglas, J. T., K. R. Howse, M. J. Goss, D. G. Christian & M. G. Jarvis 1985. Soil factors affecting management options for cereal production on a weakly-structured silty soil. Abstract 10th conf. of ISTRO, Guelph, Canada: 34
- van Duin, R. H. A. 1956. On the influence of tillage on conduction of heat, diffusion of air, and infiltration of water in soil. *Versl. Landbouwk. Onderz.* 62.7: 82p
- Duley, F. L. & O. R. Matthew 1947. Ways to till the soil. *Yb. Agric. Wash.* 1943-1947: 518-526

- Duncan, W. G., D. R. David & W. H. Chapman 1972. Developmental temperatures in corn. Soil and Crop Sci. Soc. of Florida Proc. 32: 59-63
- Earley, E. B. & J. L. Cartter 1945. Effect of the temperature of the root environment on growth of soybean plants. J. Am. Soc. Agron. 37: 727-735
- Egnér, H., H. Riehm & W. R. Domingo 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden für Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungl. Lantbr. högsk. Ann. 26: 199-215
- Ehlers, W. 1975. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. Soil Sci. 119: 242-249
- Ehlers, W. 1976. Water infiltration and redistribution in tilled and untilled loess soil. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 44: 137-156
- Ehlers, W. 1979. Influence of tillage on hydraulic properties of loessial soils in Western Germany. In: Soil tillage and crop production. R. Lal (ed.). Ibadan, Nigeria: 33-45
- Ehlers, W., B. K. Khosla, U. Köpke, W. Stülpnagel, W. Böhm & K. Baeumer 1980. Tillage effects on root development, water uptake and growth of oats. Soil and Tillage Res. 1: 19-34
- Ekeberg, E., H. Riley & A. Njøs 1985. Plogfri jordarbeiding til vårkorn. I. Avling og kveke. Forsk. Fors. Landbr. 36: 45-51
- Elliot, J. G., F. B. Ellis & F. Pollard 1977. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. 1. Spring barley on a sandy loam soil: introduction, aerial growth and agronomic aspects. J. Agric. Sci., Camb. 89: 621-629
- Ellis, F. B., J. G. Elliott, F. Pollard, R. Q. Cannell & B. T. Barnes 1979. Comparison of direct drilling, reduced

- cultivation and ploughing on the growth of cereals. 3. Winter wheat and spring barley on a calcareous clay. J. Agric. Sci., Camb. 93: 391-401
- Ellis, F. B. & K. R. Howse 1980. Effects of cultivation on the distribution of nutrients and the uptake of nitrogen and phosphorus by spring barley and winter wheat on three soil types. Soil and Tillage Res. 1: 35-46
- Ellis, F. B., D. G. Christian & R. Q. Cannell 1982. Direct drilling, shallow tine cultivation and mouldboard ploughing on a silt loam soil, 1974-1980. Soil and Tillage Res. 2: 115-130
- Ellis, F. B.; J. P. Graham & D. G. Christian 1983. Interacting effects of tillage methods, nitrogen fertilizer and secondary drainage on winter wheat production on a calcareous clay soil. J. Sci. Food Agric. 34: 1068-1076
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja, Acta Agralia Fennica 122: 112p
- FAO 1974. FAO - UNESCO soil map of the world 1:5 000 000, Vol. 1. The legend. Unesco - Paris 1974: 20-23
- Faulkner, E. H. 1943. Plowman's folly. Grosset & Dunlap, New York
- Feddes, R. A. 1973. Some physical aspects of heat transfer in soils. Acta Horticulturae 27: 189-194
- Frankinet, M., L. Rixhon, A. Crohain & L. Grévy 1979. Labour, demi-labour ou semis direct en continu: conséquences phytotechniques. Bull. Rech. Agron. Gembloux 14: 35-96
- Frankinet, M. & L. Rixhon 1983. Orientation en travail du sol. Rev. Agric. 36: 561-565
- Fysisk institutt 1983. Været på Ås. Norges landbrukshøgskole
- Fysisk institutt 1984. Været på Ås. Norges landbrukshøgskole

- Gauer, E., C. F. Shaykewich & E. Stobbe 1982. Soil temperature and soil water under zero tillage in Manitoba. *Can. J. Soil Sci.* 62: 311-325
- Goodnight, J. H. 1982. SAS user's guide: statistics, 1982 edition. A. Allen Ray (ed.). Sas Institute Inc, Cary, North Carolina: 584p
- Goodnight, J. H., J. P. Sall & W. S. Sarle 1982. SAS user's guide: statistics, 1982 edition. A. Allen Ray (ed.). Sas Institute Inc, Cary, North Carolina: 584p
- Gradwell, M. W. 1963 Overnight heat losses from soil in relation to its density. *N. Z. J. Sci.* 6: 463-473
- Gradwell, M. W. 1968 The effect of grass cover on overnight heat losses from soil. *N. Z. J. Sci.* 11: 284-300
- Goss, M. J., K. R. Howse & W. Harris 1978. Effects of cultivation on soil water retention and water use by cereals in clay soils. *J. Soil Sci.* 29: 475-488
- Griffith, D. R., J. V. Mannering, H. M. Galloway, S. D. Parsons & C. B. Richey 1973. Effect of eight tillage-planting systems on soil temperature, percent stand, plant growth, and yield of corn on five Indiana soils. *Agron. J.* 65: 321-326
- Hadas, A. 1977 Heat transfer in dry aggregated soil: I. Heat conduction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 1055-1059
- Halsted, B. D. & S. A. Waksman 1917. The influence of soil temperature upon seedling corn. *Soil Sci.* 3: 393-398
- Hanks, R. J., S. A. Bowers & L. D. Bark 1961. Influences of soil surface conditions on net radiation, soil temperature, and evaporation. *Soil Sci.* 91: 233-238
- Harrold, L. L., G. B. Triplett & R. E. Youker 1967. Watershed test of no-tillage corn. *J. Soil Water Conserv.* 22: 98-100
- Hay, R. K. M. 1976. The temperature of the soil under a barley crop. *J. Soil Sci.* 27: 121-128
- Hay, R. K. M. 1977. Effects of tillage and direct drilling on soil temperature in winter. *J. Soil Sci.* 28: 403-409

- Hay, R. K. M., J. C. Holmes & E. A. Hunter 1978. The effects of tillage, direct drilling and nitrogen fertiliser on soil temperature under a barley crop. *J. Soil Sci.* 29: 174-183
- Hayes, W. A. 1982. Minimum tillage farming. *No-Till Farmer, Inc., Brookfield, Wisconsin*: 167p
- Hayward, D. M., T. L. Wiles & G. A. Watson 1980. Progress in the development of no-tillage systems for maize and soya beans in the tropics. *Outl. Agric.* 10: 255-261
- Heinonen, R. 1985. Soil management and crop water supply. 4th edition. *Dep. of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden*: 105s
- Heldal, B. & G. Kvifte 1962. Måling av jordtemperatur. *Meld. Norg. Landbr. Høgsk.* 41: nr.1, 1-14
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of soil physics.* Academic Press: 413p
- Hill, J. D. & R. L. Blevins 1973. Quantitative soil moisture use in corn grown under conventional and no-tillage methods. *Agron. J.* 65: 945-949
- Hodgson, D. R., J. R. Proud & S. Browne 1977. Cultivation systems for spring barley with special reference to direct drilling, 1971-1974. *J. Agric. Sci., Camb.* 88: 631-644
- Holldack, L. 1918. Die Kulturmethode Jean. *Mitt. d. DLG* 19: 280-282; 21: 313-314; 22: 325-328
- Holmes, J. C. 1977. Effects of tillage, direct drilling and nitrogen in a long term barley monoculture system. *Edinburgh School of Agriculture Ann. Rep.* 1976: 104-112
- Hood, A. E. M., H. R. Jameson & R. Cotterell 1963. Destruction of pastures by paraquat as a substitute for ploughing. *Nature, London*, 197: 748
- Hood, A. E. M., H. R. Jameson & R. Cotterell 1964. Crops grown using paraquat as a substitute for ploughing. *Nature, London*, 201: 1070-1072
- ten Holte, L. 1982. Effect of zero-tillage on soil

- characteristics and crop yields. Proc. 9th. Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia: 118-124
- von Hoyningen-Huene, S. 1971. Über den Einfluss einer Strohecke auf den Strahlungshaushalt des Erdbodens. Agr. Meteorol. 9: 63-75
- Idso, S. B., R. D. Jackson, R. J. Reginato, B. A. Kimball & F. S. Nakayama 1975. The dependence of bare soil albedo on soil water content. J. Appl. Meteorol. 14: 109-113
- Johnson, M. D. & B. Lowery 1985. Effects of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1547-1552
- Jones, J. M., J. E. Moody & J. H. Lillard 1969. Effects of tillage, no-tillage and mulch on soil water and plant growth. Agron. J. 61: 719-721
- Jope, E. M. 1956. Agricultural implements. In: A history of technology, vol II. The mediterranean civilizations and middle ages, 700 bc to ad 1500. C. E. Singer, J. Holmyard, A. R. Hall & T. Williams (ed.). Oxford Press, England: 81-93
- Kahnt, G. 1976. Ackerbau ohne Pflug. Ulmer Fachbuch, Stuttgart: 128p
- Kara, O. & L. Räisänen 1979. Jordbearbetningens minimering samt så- och gjødselbillars lämplighet för sådd i oplöjt underlag. Study report no. 20. Finnish Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry.
- Ketcheson, J. W. 1957. Some effects of soil temperature on phosphorus requirements of young corn plants in the greenhouse. Can. J. Soil Sci. 37: 41-47
- Ketcheson, J. W., P. H. Groenevelt, B. D. Kay & C. D. Grant 1982. Effect of tillage and stover management on soil temperature. Proc. 9th Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia: 478-483
- King, F. H. 1893. Influence of rolling and of deep and

- shallow cultivation on the temperature of the soil. Ann. Rep. Wisc. Agric. Exp. Sta. 10: 189-193
- Kohnke, H. 1968. Soil physics. Tata McGraw-Hill publishing company, LTD. Bombay - New Delhi: 224p
- Korvin, A. I. 1954. The effect of lowered soil temperature on the yield of spring wheat. Dokl. Akad. Nauk. S.S.S.R. 97: 1081-1084
- Kuipers, H. 1984. The challenge of soil cultivations and soil water problems. J. Agric. Engng. Res. 29: 177-190
- Köpke, U. 1979. Ein Vergleich von Feldmethoden zur Bestimmung des Wurzelwachstums landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Diss. Göttingen, 179s.
- Lal, R. 1974. No-tillage effects on soil properties and maize (*Zea mays* L.) production in Western Nigeria. Plant and Soil 40: 321-331
- Lal, R. 1976. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 762-768
- Lal, R. 1985. A soil suitability guide for different tillage systems in the tropics. Soil and Tillage Res. 5: 179-196
- Larpe, G. 1978. Plogfri odling. Landsb. Folk, nr.7
- Larson, W. E., W. C. Burrows & W. O. Willis 1960. Soil temperature, soil moisture and corn growth as influenced by mulches of crop residues. Trans. Intern. Congr. Soil Sci., 7th Congr. Madison. 1: 629:637
- von Liebig, J. 1863. Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Bd.2
- Låg, J. 1975. Jordbunnsføre. Forelesninger ved Norges landbrukshøgskole: 252s
- Maillard, A. & A. Vez 1982. Influence of different soil tillage implements on yield and some chemical and physical properties in a long term experiment. Proc. 9th Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia: 484-489
- Mannering, J. V., L. D. Meyer & C. B. Johnson 1966.

- Infiltration and erosion as affected by minimum tillage for corn (*Zea Mays* L.). *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 101-105
- Marti, M. & J. Karlstad 1981. Porestørrelsesfordeling (pF-kurver) mm. - arbeidsbeskrivelse. I: Njøs, A., M. Marti & T. Børresen, JK4. Felt- og laboratorieøvelser. Institutt for jordkultur, Norges landbrukshøgskole: 12.1-12.3
- Marti, M. 1984. Kontinuierlicher Getreidebau ohne Pflug im Südosten Norwegens - Wirkung auf Ertrag, Physicalische und Chemische Bodenparameter. Dr. scient avhandling, Institutt for jordkultur, Norges landbrukshøgskole: 155s
- McCalla, T. M. & T. J. Army 1961. Stubble mulch farming. *Adv. in Agron.* 13: 125-196
- Mock, J. J. & D. C. Erbach 1977. Influence of conservation-tillage environments on growth and productivity of corn. *Agron. J.* 69: 337-340
- Moen, O. 1932. Orienterende prøver med dyrking av endel grønnsaker på ulike jordarter. *Meld. Norg. Landbr. Høgsk.* 12: 183-209
- Moody, J. E., J. N. Jones, Jr. & J. H. Lillard. 1963. Influence of straw mulch on soil moisture, soil temperature, and growth of corn. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27: 700-703
- Nielsen, K. F., R. L. Halstead, A. J. MacLean, R. M. Holmes & S. J. Bourget 1960. The influence of soil temperature on the growth and mineral composition of oats. *Can. J. Soil Sci.* 40: 255-263
- Nissen, Ø. & E. Mosleth 1985. Brukerveiledning for MSTAT, statistikkprogram for mikrodatamaskiner. Ås - NLH
- von Nitzsch, W. 1936. Der Porengehalt des Ackerbodens. Messverfahren und ihre Brauchbarkeit. *Pfl. Ernähr. Düng. Bodenk.* 1 (46): 101-115
- von Nitzsch, W. 1937. Bessere Bodenbearbeitung. *R.K.T.L. Schr.* 70

- Njøs, A. 1959. Norwegen bevorzugt den schraubenden Pflugkörper. DLG-Mitteilungen, Heft 13: 360-362
- Njøs, A. 1965. Jordfysikk og jordarbeiding. Forelesninger ved Norges landbrukshøgskole: 116s
- Njøs, A. 1967a. Slodding - Virkninger på fysiske forhold i jorda. Norsk landbruk nr. 5: 14-15, 37
- Njøs, A. 1967b. Forsøk med dekking av jord. Jord og avling nr 2, 1967. Særtrykk nr 86 fra Institutt for jordkultur, Norges landbrukshøgskole: 8s
- Njøs, A. 1967c. Taking undisturbed samples. West-European methods for soil structure determination. M. de Boedt (ed.), Gent: V29
- Njøs, A. 1970. Tidlig jordarbeiding og såing ved korndyrking. Noen forsøksresultater fra 1970. Særtrykk nr. 111 fra Institutt for jordkultur, Norges landbrukshøgskole: 3s
- Njøs, A. 1971. Aggregatstørrelsen i såbedet i forhold til markvannet. Den Norske komité for Den internasjonale hydrologiske dekade. Oslo. Rap. nr. 2: 34-49
- Njøs, A. 1972. Fysiske forhold i såbed til korn. Temperatur og fuktighet under ulike aggregatstørrelser. NJF-seminar Helsinki, juni 1972, Særtrykk nr. 123c fra Institutt for jordkultur, Norges landbrukshøgskole: 10s
- Njøs, A. 1977. Plogfri jordarbeiding. Norsk landbruk nr. 6: 6-7
- Njøs, A. & T. E. Sveistrup 1977. Kornstørrelser i mineraljord. Jord og myr 2: 29-43
- Njøs, A. 1978. Effects of tractor traffic and liming on yields and soil physical properties of a silty clay loam soil. Meld. Norg. Landbr. Høgsk. 57: nr. 24 1-26
- Njøs, A. 1980. Jordforbedring og jordarbeiding. Aktuelt fra Statens fagtjeneste i landbruket nr. 5: 32-49
- Njøs, A. 1983. Variability in soil structure and inconsistency in soil tillage terminology. Soil and Tillage Res. 3: 1-2

- NLVF 1983. Energibruk ved ulike driftsformer i jordbruket og muligheter for å redusere bruk av energi. Norges landbruksvitenskapelig forskningsråd. Utredning nr. 125: 175s
- Odén, S & I. Lundh 1959. Fältkapaciteten i relation till kapillär potential, kapillär gradient och kapillär ledningsförmåga. Grundförbättring 12: 148-179
- O'Sullivan, M. F. & B. C. Ball 1982a. Spring barley growth, grain quality and soil physical conditions in a cultivations experiment on a sandy loam in Scotland. Soil and Tillage Res. 2: 359-378
- O'Sullivan, M. F. & B. C. Ball 1982b. Water regimes in ploughed and direct drilled soils under cereals in Scotland. Proc. 9th Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia: 520-525
- O'Sullivan, M. F. 1985. Water redistribution and use by barley in two ploughed and direct drilled stagnogley soils. J. Agric. Engng. Res. 31: 171-184
- van Ouwerkerk, C. & F. R. Boone 1970. Soil-physical aspects of zero-tillage experiment. Neth. J. Agric. Sci. 18: 247-261
- Page, J. B., C. J. Willard & G. W. McCuen 1946. Progress report on tillage methods in preparing land for corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 70-80
- Parks, W. L. & W. B. Fisher, Jr. 1958. Influence of soil temperature and nitrogen on ryegrass growth and chemical composition. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 257-259
- Patterson, D. E., W. C. T. Chamen & C. D. Richardson 1980. Long-term experiments with tillage systems to improve the economy of cultivations for cereals. J. Agric. Engng. Res. 25: 1-35
- Pidgeon, J. D. & B. D. Soane 1977. Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long-term barley monoculture system. J. Agric. Sci., Camb. 88: 431-442

- Pidgeon, J. D. 1982. "Paraplow" - a rational approach to soil management. Proc. 9th Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia: 633-636
- Pidgeon, J. D., E. Lord, J. M. Proctor & D. B. Davies 1985. The effects of soil loosening on soil conditions and continuous winter cereals in eastern England, 1980-1983. Abstract 10th Conf. of ISTRO, Guelph, Canada: 33
- Pollard, F., J. G. Elliot, F. B. Ellis & B. T. Barnes 1981. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. 4. Spring barley and winter wheat on silt loam soils over chalk. J. Agric. Sci., Camb. 97: 677-684
- Potter, K. N., R. M. Cruse & R. Horton 1985. Tillage effects on soil thermal properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 968-973
- Rasmussen, K. J. 1981. Reduceret jordbearbejdning ved monokultur i byg. Tidsskr. Planteavl 85: 171-183
- Rasmussen, K. J. 1982. Jordbearbejningsmetoder til vintersæd. Tidsskr. Planteavl 86: 531-541
- Rasmussen, K. J. & C. C. Olsen 1983. Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrking. 1. Vækstbetingelser, jordfysiske målinger og udbytter ved ensidig byg og sædskiftebyg. Tidsskr. Planteavl 87: 193-215
- Reitemeier, R. F., R. S. Holmes, I. C. Brown, L. W. Klipp & R. Q. Parks 1947. Release of non-exchangeable potassium by greenhouse, Neubauer, and laboratory methods. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 12: 158-162
- Richards, L. A. 1947. Pressure-membrane apparatus, construction and use. Agric. Engng. 28: 451-454; 460
- Richards, L. A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soils. Soil Sci. 66: 105-110
- Richards, S. J., R. M. Hagan & T. M. McCalla 1952. Soil temperature and plant growth. In: Soil physical conditions and plant growth. B. T. Shaw (ed.). Agron.

- Monograph 2. Academic Press, New York: 303-480
- Richards, S. J. 1965. Soil suction measurements with tensiometers. In: Methods of soil analysis. Part 1. Black, C. A. (ed.): 153-163
- Riley, H. 1979. En enkel metode for måling av integrerte temperaturer i feltundersøkelser. Kise - informasjon nr.1
- Riley, H. 1981. En vurdering av mulighetene for direktesåing av korn. Aktuelt fra Statens fagttjeneste i landbruket nr. 2: 3-11
- Riley, H. 1982. Foreløpige resultater med redusert jordarbeiding og direktesåing ved korndyrking. Aktuelt fra Statens fagttjeneste i landbruket nr.3: 71-84
- Riley, H. 1983a. Redusert jordarbeiding og halmbehandling til vårkorn på ulike jordarter. I. Avlinger og ugrasmengder. Forsk. Fors. Landbr. 34: 209-219
- Riley, H. 1983b. Redusert jordarbeiding og halmbehandling til vårkorn på ulike jordarter. II. Jordfysiske forhold. Forsk. Fors. Landbr. 34: 221-228
- Riley, H. 1984. Dyrkingsteknikk på bakkeplanert leirjord og på siltjord. Aktuelt fra Statens fagttjeneste i landbruket nr. 4: 93-110
- Riley, H. 1985. Redusert jordarbeiding til vårkorn. Ulike såmaskiner og såtider. Forsk. Fors. Landbr. 36: 61-70
- Riley, H., A. Njøs & E. Ekeberg 1985. Plogfri jordarbeiding til vårkorn. II. Jordundersøkelser. Forsk. Fors. Landbr. 36: 53-59
- Robinson, R. R., V. G. Sprague & C. F. Gross 1959. The relation of temperature and phosphate placement to growth of clover. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 225-228
- Roemer, Th. 1929. Bodenbearbeitung. In: Handbuch der Landwirtschaft. Ackerbaulehre. F. Aereboe, J. Hansen & Th. Roemer. Bd. 2: 209-273
- Russell, E. W. & B. A. Keen 1938. Studies on soil cultivation, VII. J. Agric. Sci. 28: 212-233

- Russell, E. W. & B. A. Keen 1941. Studies on soil cultivation, X. J. Agric. Sci. 31: 326-347
- Russell, E. W. 1953. The effect of methods of cultivation. Landbouwk. Tijdschr. 65: 169-184
- Rydberg, T. 1980a. Storparcellförsök med plöjningsfri odling, 1976-1978. Rap. från jordbearbetningsavd. nr. 59, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala: 20s
- Rydberg, T. 1980b. När kan plöjningsfri odling tillämpas? Forsöksledarmötet 1980, Uppsala, Konsulentavdelingens rapporter, Allmänt 23: 6.1-6.10
- Rydberg, T. 1982. Field experiments with ploughless tillage in Sweden, 1976-1981. Proc. 9th Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia: 125-130
- Schwerdtle, F. 1969. Untersuchungen zur Populationsdichte von Regenwürmern bei herkömmlicher Bodenbearbeitung und bei "Direktsaat". Z. PflKrankh. PflPath. PflSchutz 76: 635-641
- Sellers, W. D. 1965. Physical Climatology. Univ. of Chicago Press. Chicago, Illinois: 272p
- Shanholtz, V. O. & J. H. Lillard 1969. Tillage effects on water use efficiency. J. Soil Water Coserv. 24: 186-189
- Shaw, R. H. & W. F. Buchele 1957. The effect of the shape of the soil surface profile on soil temperature and moisture. Iowa state College J. Sci. 32: 95-104
- Shear, G. M. & W. W. Moschler 1969. Continuous corn by no-tillage and conventional tillage methods: A six-year comparison. Agron. J. 61: 524-526
- Sprague, V. G. 1943. The effects of temperature and day length on seedling emergence and early growth of several pasture species. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 8: 287-294
- Sprague M. A. & G. B. Triplett 1986. No-tillage and surface-tillage agricultur. The tillage revolution. John Wiley & Sons: 467p
- Taylor, S. A. & G. L. Ashcroft 1972. Physical edaphology: The physics of irrigated and non-irrigated soils.

- Freeman & Co., San Francisco: 401-412
- Thaer, A. 1802. Grundsätze der rationellen Landwirtschaft. Berlin. Svensk utgave ved T. Bergelin, 1846, Stockholm: 601s
- Thun, R. 1967. Gravimetric determination of soil moisture. West-European methods for soil structure determination. M. de Boodt (ed.). Gent: V29
- Tinsley, J. 1950. Methods for soil assessing the organic matter status of soils. Int. Soc. of Soil Sci., Trans. I: 22-30
- Tornau, O. 1931. Bodenbearbeitung. In: Handbuch der Bodenlehre. E. Blanck (ed.). Bd. 9: 93-237
- Torstensson, G. & S. Eriksson 1936. A new method for determining the porosity of the soil. Soil Sci. 42: 405-417
- Torstensson, G. 1955. Från grävkäpp till plog. Särtryck ur Försök och undervisning. Utg. av Uppsala Läns Kungl. Hushållningssällskap: 8s
- Triplett, G. B., Jr., D. M. van Doren, Jr., & B. L. Schmidt 1968. Effect of corn (*Zea mays* L.) stover mulch on no-tillage corn yield and water infiltration. Agron. J. 60: 236-239
- Tull, J. 1733. Horse hoeing husbandry. London
- Unger, P. W. 1978. Straw mulch effects on soil temperatures and sorghum germination and growth. Agron. J. 70: 858-864
- Veze, A. 1979. Soil tillage in a long-term wheat monoculture. Proc. 8th Conf. of ISTRO, Hohenheim, West-Germany: 263-269
- Voorhees, W. B. 1976. Plant response to wheel traffic-induced soil compaction in the Northern Corn Belt of the United States. Proc. 7th Conf. of ISTRO, Uppsala, Sweden: 44.1-44.6
- de Vries, D. A. 1963. Thermal properties of soils. In: Physics of plant environment. W. R. van Wijk (ed.).

- North Holland Publ. Co., Amsterdam: 210-235
- Wall, D. A. & E. H. Stobbe 1984. The effect of tillage on soil temperature and corn (*Zea mays* L.) growth in Manitoba. *Can. J. Plant Sci.* 64: 59-67
- Watts, W. R. 1976. Soil reflection coefficient and its consequences for soil temperature and plant growth. In: *Light as an ecological factor. Proc. Brit. Ecol. 2nd Symp.*: 409-420
- Weatherley, A. B. & J. H. Dane 1979. Effect of tillage on soil-water movement during corn growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 1222-1225
- Welterlen, M. S. & T. L. Watschke 1981. Techniques for thermocouple placement and the automation of temperature measurement in the microenvironment of Kentucky bluegrass. *Agron. J.* 73: 808-812
- Westmaas Research Group on New Tillage Systems 1980. Experiences with three tillage systems on a marine loam soil. I. 1972-1975. *Agric. Res. Rep.* 899, Pudoc, Wageningen: 100p
- Westmaas Research Group on New Tillage Systems 1984. Experiences with three tillage systems on a marine loam soil. II. 1976-1979. *Agric. Res. Rep.* 925, Pudoc, Wageningen: 263p
- van Wijk, W. R., W. E. Larson & W. C. Burrows 1959. Soil temperature and early growth of corn from mulched and unmulched soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23: 428-434
- Willis, W. O., W. E. Larson & D. Kirkham 1957. Corn growth as affected by soil temperature and mulch. *Agron J.* 49: 323-328
- Willis, W. O. & W. A. Raney 1971. Effects of compaction on content and transmission of heat in soils. In: *Compaction of agricultural soils. K. K. Barnes et al. (ed.). ASAE, St. Joseph, MI: 165-177*
- Willis, W. O. & M. Amemiya 1973. Tillage management principles: Soil temperature effects. *Proc of Nat. Conf.*

- on Conservation Tillage, Des Moines, Iowa: 22-41
- Woodruff, N. P. & F. H. Siddoway 1973. Wind erosion control. Conservation tillage. Proc. Nat. Conf., Ankeny, Iowa: 1-4
- Wollny, E. 1895. Untersuchungen über den Einfluss der mechanischen Bearbeitung auf die Fruchtbarkeit des Bodens. I. Forschn. Geb. Agrik. Phys. 18: 63-75
- Wollny, E. 1896. Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse der Bodenarten, (Erste Mittheilung). Forschn. Geb. Agrik. Phys. 19: 305-401
- Wollny, E. 1897a. Untersuchungen über den Einfluss der mechanischen Bearbeitung auf die Fruchtbarkeit des Bodens. II. Forschn. Geb. Agrik. Phys. 20: 231-289
- Wollny, E. 1897b. Untersuchungen über den Einfluss der Behäufelungs- und der Kammkultur auf das Produktionsvermögen der Kulturpflanzen. Forschn. Geb. Agrik. Phys. 20: 493-526
- Wollny, E. 1897c. Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse der Bodenarten, (Zweite Mittheilung). Forschn. Geb. Agrik. Phys. 20: 133-186

8. VEDLEGG

Vedlegg 1. Variansanalyse for jordarbeidingssystem og pakking

År*Periode

Jordarbeiding

Feil A (År*Jordarb, Periode*Jordarb,
År*Periode*Jordarb)

Pakking

Feil B (År*Pakking, Periode*Pakking, År*Periode*Pakking)

Jordarbeiding*Pakking

Feil C (År*Periode*Pakking, Periode*Jordarb*Pakking,
År*Periode*Jordarb*Pakking)

Vedlegg 2. Variansanalyse for etterbehandling ved
konvensjonell jordarbeiding

År*Periode

Pakking

Feil (År*Pakking, Periode*Pakking, År*Periode*Pakking)

Vedlegg 3. Variansanalyse for halmdekking

Periode

Behandling'

Feil A (Periode*Behandling)

Halm

Behandling*Halm

Feil B (Periode*Halm, Periode*Behandling*Halm)

') Behandling = Jordarbeiding * Pakking

Vedlegg 4. Glødetap, korrigert for leirinnhold (vekt%)

År	Dybde	Upakket			Tromlet	Pakket		
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir
1983	2- 6 cm	5.0	4.6	4.5	4.4	5.6	4.7	5.1
	6-24 cm	4.4	4.5	4.5	4.5	5.4	4.8	5.0
1984	2- 6 cm	4.0	4.6	4.6	4.9	4.8	4.9	5.1
	6-24 cm	3.9	4.5	4.5	4.0	4.8	4.8	4.9

Vedlegg 5. Jordtetthet

År	Dybde	Upakket			Tromlet	Pakket		
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir
1983	2- 6 cm	1.06	1.10	1.14	1.16	1.12	1.27	1.24
	6-24 cm	1.34	1.28	1.35	1.37	1.24	1.33	1.37
1984	2- 6 cm	1.03	0.97	1.16	1.16	1.13	1.09	1.20
	6-24 cm	1.21	1.26	1.31	1.27	1.23	1.33	1.27

Vedlegg 6. Porevolum (%)

År	Dybde	Upakket			Tromlet	Pakket		
		Konv	Red	Dir	Konv	Konv	Red	Dir
1983	2- 6 cm	59.0	58.9	56.4	56.0	56.7	50.3	51.4
	6-24 cm	49.0	51.0	48.5	47.2	52.0	49.2	47.2
1984	2- 6 cm	61.8	64.4	56.8	57.0	57.1	59.1	54.9
	6-24 cm	53.8	52.6	51.2	51.8	53.6	49.4	51.9

Vedlegg 7. Vanninnhold (vol%)

År	Dybde	Upakket			Tromlet			Pakket		
		Konv	Red	Dir	Konv	Dir	Konv	Red	Dir	
06.06.83	2- 6 cm	28.6	30.6	32.9	30.7	37.7	36.0	38.5		
	6-24 cm	43.0	38.8	39.8	41.2	43.1	39.3	41.2		
16.06.83	2- 6 cm	21.8	22.6	23.8	23.3	26.4	25.0	27.7		
	6-24 cm	35.0	31.2	32.5	32.7	32.0	28.9	32.1		
10.05.84	2- 6 cm	19.7	18.5	25.1	24.5	23.3	22.7	23.9		
	6-24 cm	31.4	31.8	30.6	33.0	34.0	32.8	30.0		
28.06.84	2- 6 cm	23.1	24.1	27.1	26.4	28.5	27.5	30.1		
	6-24 cm	28.2	31.5	31.4	30.6	31.6	31.9	33.5		

Vedlegg 8. Nøytrontermålinger i 1984 for ulike jord-arbeidingsystemer, felt 1, NLH.

Dato	20 cm			40 cm			60 cm		
	Konv	Red	Dir	Konv	Red	Dir	Konv	Red	Dir
08.06	38.7	34.9	36.4	34.7	27.6	28.5	25.4	28.2	28.5
15.06	33.9	29.8	31.1	33.4	26.3	28.2	25.4	28.3	28.3
22.06	31.2	27.1	29.1	30.5	24.6	25.3	25.0	27.9	28.0
28.06	32.4	27.8	29.8	29.7	23.8	24.2	24.2	27.4	27.5
04.07	33.1	27.8	29.7	28.9	22.1	23.2	24.5	27.4	27.2
11.07	29.1	23.8	26.1	25.1	18.7	19.7	22.0	26.7	26.2
18.07	35.8	30.5	31.1	27.5	20.4	21.4	22.4	27.2	27.4
01.08	29.0	24.9	26.5	25.2	17.9	17.7	20.3	25.4	26.1
09.08	35.3	30.4	32.0	27.6	20.3	21.0	20.7	25.6	26.2
15.08	33.7	29.5	30.9	26.9	20.0	20.7	22.5	26.2	25.8
22.08	31.7	26.4	29.2	27.3	18.6	19.4	20.4	25.1	26.1
29.08	30.6	24.3	28.8	27.0	17.8	19.6	21.4	25.3	26.4
05.09	30.3	26.3	29.3	26.2	17.4	19.7	22.3	25.1	26.6
12.09	30.7	25.4	29.3	25.9	17.2	19.7	21.6	24.5	25.6
19.09	30.5	25.0	29.0	25.8	18.0	20.0	21.9	24.3	25.5
26.09	34.8	30.2	33.3	31.4	22.9	25.5	27.2	28.5	28.8