

23-

INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 ÅS-NLH

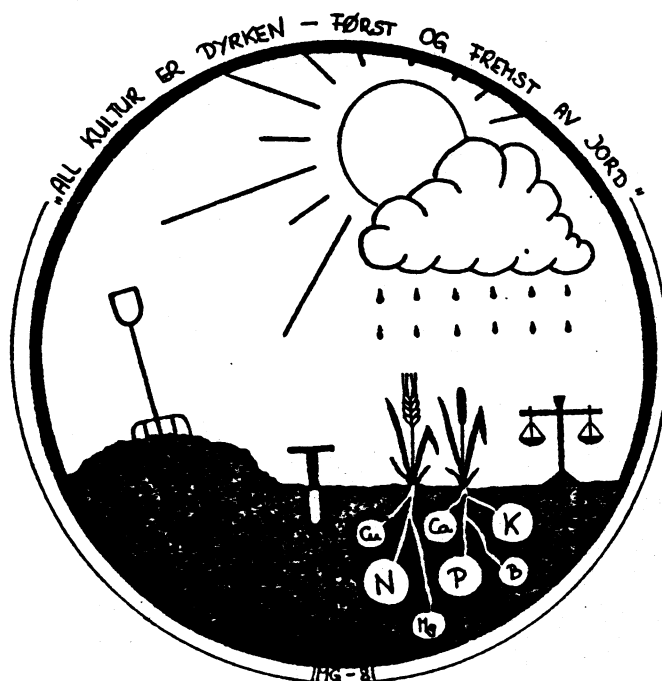
JK3 - JORDFYSIKK OG JORDARBEIDING

FORELESNINGSNOTATER:

MASKINENE OG JORDA
TIDLIG JORDARBEIDING OG SÅING TIL KORN
PLOGFRI JORDARBEIDING
DJUPARBEIDING
VEDLEGG: KURVER OG TABELLER

AV

ARNOR NJØS



LANDBRUKSBOKHANDELEN

ISBN 82-557-0131-1
ÅS-NLH 1981

DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY
N-1432 ÅS-NLH, NORWAY

Tidlig jordarbeiding og såing til korn

Erfaringer fra årene 1970-75 på Sørøstlandet

Av

Arnor Njøs

Institutt for jordkultur

Vårklimaet

Det normale vårklimaet på Sørøstlandet er preget av en kald, fuktig start og fra midten av april en gradvis opptørking. Juni er den tørreste måneden. Tallene nedenfor viser potensiell fordampning og vannbalanse i Ås. Potensiell fordampning kan settes = vannbehov.

Tabell 1. Vannbehov og vannbalanse i Ås, e. Heldal 1976.

Måned	Vannbehov	Vannbalanse, mm.
Mai	76	- 24
Juni	112	- 38
Juli	104	- 20
Sum	292	- 82

April har normalt et lite overskudd på nedbør først i måneden, men underskudd mot slutten av måneden. August har nedbøroverskudd.

I tilfelle vekstene har dyp rotutvikling og vokser i en jord med stort nyttbart vannlager, skulle de egentlig greie seg gjennom denne forsommertørken. Men selv om leirjordene kan ha et fysisk nyttbart vannforråd på 200 mm i den øverste meteren og silt (= kvabb)-jordene enda mer, vil det ofte være slik at rotutviklingen ikke er tett nok og dyp nok til å få tak i det fysisk nyttbare vannlagret. Det biologisk nyttbare vannlagret er også avhengig av tidspunktet i sesongen. Det er mye lettere for et rotsystem å dekke et underskudd på 1 mm pr. dag, slik som tidlig på våren enn et underskudd på 3-4 mm pr. dag, det en kan vente omkring St.Hans. I 1975 var det to dager i slutten av juni med et vannbehov på 6-7 mm pr. dag.

Trass i store variasjoner i temperatur og nedbør fra år til år er det likevel én ting som er den samme, nemlig selve strålingsrytmen. Det er like mye innstråling i april som i august, og toppen nås ved sommersolhverv, mens toppen i lufttemperatur kommer i juli eller som i 1975 i august.

I korndyrkingen er det stadig snakk om å få nye sorter som skal gi større avlinger. Men erfaringene fra de siste 10 åra har vel nettopp vist at ingen enkeltfaktor betyr mer enn å få sådd tidlig. Sterkere busking, kortere strå, mindre legde, gir muligheter for å utnytte større N-mengder ved tidlig såing (Lyngstad). Det er vel faktisk slik at de buskingsskuddene som ikke setter korn er med på å mate de aksene som når full utvikling.

Siden det nå er ganske mange forsøk som viser strukturskader av pakking med maskiner i våt jord, vil dette med tidlig såing by på vanskeligheter. Her må en da stille seg sjøl spørsmålet:

Tåles det jordarbeiding i fuktigere jord tidlig på våren enn sent på våren?

Dette spørsmålet gjelder særlig leirjordene, hvor det erfaringsvis er størst fare for strukturskader og tilsynelatende mye å oppnå ved tidlig såing.

Institutt for jordkultur har hatt et fastliggende forsøk siden 1970 på middels moldholdig, sandig, skjør leirjord. I disse årene har det blitt prøvd å utføre første såing så tidlig som overhodet mulig, det vil si like etter at telen er gått. De andre såtidene har fulgt med litt ulike mellomrom. En har forsøkt å få med én såtid som representerer tidligste tidspunkt for skikkelig smuldrings-tørr jord, og to såtider, derav én ganske sent, med noe våtere jord. I enkelte år har en vært nødt til å vanne for å få fuktigheten i jorda opp på et senere tidspunkt.

Figurene 1 og 2 viser avlingsresultatene i dette forsøket. Som en ser er det bare i ett år, 1970 at første såing har gitt mindre avling enn tida for gunstigste jordarbeiding. I 1970 var det bare 6 mm nedbør i mai, og dette førte da til vanskelige spiringsforhold der strukturen var grov. Tabell 2. viser hvordan avlingsresultatene har variert med såtid og jordfuktighet ved såing direkte på pløgsle og etter to harvinger.

Tabell 2. Avlinger etter ulike behandlinger ved forsøk med tidligst mulig såing.

Såtid	År	Antall høstinger	Vanninnhold 0-5 cm, %	Korn, kg pr. dekar	
				0 harving	2 harvinger
24/4	1970	1	35	270	150
1/4-15/4	1971-75	5	25-33	440	560
15/4-30/4	1971-75	7	20-29	420	480
1/5-15/5	-70, -72, -73, -75	4	24-31	380	450
15/5-30/5	-70, -71, -72, -74	5	23-32	300	310
Etter 30/5	-71, -74	2	26-31	110	190

Som vi ser har det vært minst jordfuktighet i perioden 15/4-30/4 i disse forsøkene. Men likevel er avlingene høyere for perioden 1/4-15/4. Ved samme jordfuktighet én måned etter denne perioden er avlingene betraktelig redusert, og ved samme jordfuktighet etter 30/5 er det en drastisk reduksjon. Årsaken til den store avlingsnedgangen ved 2 harvinger i forhold til å så direkte på pløgsle ved såing 24/4 1970 skyldes at jorda var for våt ved den behandlingen og at hele mai måned ga bare 6 mm nedbør slik at jorda hardnet til og det ble svært vanskelige spirings- og buskingsforhold.

For å sammenligne virkningen på klumpmengden av jordarbeiding ved første såing med jordarbeiding i smuldringstørr jord, kan vi se på årene 1970 og 1973 (se tabell 3).

Tabell 3. Virkning på klumpmengde av jordarbeiding ved tidligste såing og ved tidligste smuldringstørr jord.

	Dato	Vanninnhold %	Klumper > 6 mm, %	
			0 harvinger	2 harvinger
Tidligst såing	24/4 1970	35	36	49
Tidligst smuldring	5/5 1970	24	31	30
Tidligst såing	5/4 1973	32	34	33
Tidligst smuldring	27/4 1973	24	33	29

Jordfuktigheten var altså så stor i 1970 at tidligste såing resulterte i en betydelig økning av klumpmengden ved harving.

Ikke bare avlingene, men også kvaliteten har gått betydelig ned ved utsatt såing. Her kan året 1974 brukes som et godt eksempel, se tabell 4.

Tabell 4. Hektolitervekt og 1000-kornvekt for havre i forsøk med tidligst mulig såing år 1974.

Sådato	Jordfuktighet, %	Middelavling, kg/dekar	Hl-vekt, kg	1000-kornvekt, g
1/4	26,9	558	60	39
16/4	21,3	548	56	39
22/5	22,8	490	54	36
7/6	25,5	242	51	34

I 1974 var det overraskende høg avling ved så sen såing som 22/5. Ellers kan vi nevne at avlingene i dette forsøket er høstet mellom hjulsporene for å holde pakkefaktoren unna. I praksis kan pakkingen imidlertid ikke unngås, og de spredte forsøkene tar også inn denne virkningen. Resultatene av de spredte forsøkene på Sørøstlandet i 1970 er tidligere nevnt i Norsk Landbruk (Njøs, 1971). Den ekstremt tørre mai-måned i 1970 førte til relativt små avlinger ved de tidligste såtidene.

Spredte forsøk med tidlig jordarbeiding og såing 1971-74.

I figur 3 er vist resultatene av forsøkene med tidlig jordarbeiding og såing på Sørøstlandet i årene 1971-74.

Figuren viser en ganske sterk tendens til mindre avling ved utsatt såing. Det er her stor variasjon i tidligste sådato på grunn av ulikheter i geografiske forhold. I ett tilfelle var det mindre avling ved tidligste såtid enn ved neste såtid. Det gjaldt et felt på leirjord. På disse feltene var det forøvrig lagt vekt på å få stigende jordarbeidingsintensitet med utsatt såtid for å holde kveka unna. En gruppering av feltene etter såtid er vist i tabell 5.

Tabell 5. Gruppering av de spredte feltene etter sådato og avling.

Sådato	Antall høstinger	Kg korn pr. dekar
Før 20/4	5	490
20/4 - 30/4	7	430
30/4 - 10/5	5	410
10/5 - 20/5	4	380
20/5 - 30/5	5	290
Etter 30/5	2	270

Det var både kveite, bygg og havre og ulike sorter, men vanskelig å se noen ulikheter i reaksjon på såtid. Det var gjennomgående en tendens til mindre legde og høgere tørrstoffinnhold i kornet ved tidligere såing.

Virkingen av pakking.

Selv om det i de spredte forsøkene var større avling ved tidligste såing enn ved senere såtider, kan en ikke se bort fra strukturskader ved arbeiding av våt jord. I tabell 6 er vist noen avlingstall for jordarbeiding av en middels

stiv leirjord ved normal opptørking og ved arbeidning før opptørking.

Tabell 6. Avlinger i forsøk med jordarbeiding før og etter opptørking.

Behandling	Korn kg/dekar Middel, 3 år
Arbeiding før opptørking	390
" etter "	460

I dette forsøket har en forsøkt å holde tidspunktene for de to arbeidningene så nær hverandre som mulig, og de er sådd samtidig. Men det leddet som har vært arbeidd i våt tilstand har da blitt liggende en tid før såing. Midlere såtid for de tre årene var 30. april. Minst mulig jordarbeiding må være regelen ved tidlig såing før jorda er smuldringstørr. Videre må en i alle fall vente til jorda bærer maskinene, og det er nok en fordel å kjøre med så lågt marktrykk som mulig, det vil si store hjul eller tvillinghjul på tunge traktorer.

Kan en så oppå jorda?

I årene 1970-73 hadde Institutt for jordkultur igang et forsøk med såing på overflaten og i 4 cm dybde ved ulike såtider. Dette var et rammeforsøk, og avlingene kan derfor ikke direkte sammenlignes med vanlige feltforhold. Jorda ble arbeidd med rive før såing. Resultatene er gitt i tabell 7.

Tabell 7. Kornavling og kornprosent i forsøk med sådybdene 0 cm og 4 cm og ulike såtider i rammeforsøk på sandig, skjør leire, NLH 1970-73.

Sådybde	Midlere såtid	Kg korn pr. dekar	Kornprosent
0 cm	27/4	490	47
"	13/5	350	40 x)
"	2/6	290	42
4 cm	27/4	790	50
"	13/5	730	49
"	2/6	380	46

x) Det lave tallet skyldes ekstremt lav kornprosent ved midtre såtid i 1970.

Som en ser, er det langt mindre avlinger ved overflatesåing enn vanlig nedmylding. Avlingene har også holdt seg bedre oppe ved seinere såing når ned-

myldingen er bra - forøvrig en gammel erfaring! I tre av årene var legdeprosenten liten, men i 1972 var det 108 mm nedbør i juni og en veldig økning i legdeprosenten med utsatt såtid, se figur 4.

Virkingen på rotgraset er også et moment som en bør ta med i vurderingen ved såtids- og jordarbeidingsspørsmålet.

Siden forsøket med tidligst mulig såing ved NLH har ligget på samme sted i 6 år, får en et visst inntrykk av de langsiktige virkningene på kvekemengden ved å ta for seg siste høstear 1975, se tabell 8.

Tabell 8. Virkning på kveke i langvarig forsøk med tidligst mulig såing, NLH, kfr. fig. 1 og 2.

Såtid 1975	Vanninnhold jord, %	Prosent kveke	
		0 harvinger	2 harvinger
3/4	30	6	6
16/4	29	10	5
25/4	22	11	5
2/5	31	23	9

Sett på bakgrunn av tallene i tabellen kommer det fram en gammel sannhet, at kveka kan konkurreres bort når en greier å ta store avlinger av kulturplantene. Det er ganske tydelig at kveka har kommet der hvor det har vært minst konkurranse. Vi bør slutte med å gi kveka skylda for små avlinger og heller finne ut hvordan vi kan la kornet gjøre jobben med å kverke kveka. — Det ser ut til å være mer nødvendig med grundig jordarbeiding ved svært sen såtid.

Næringsopptaket ved utsatt såing/jordarbeiding.

I mai og juni er det normalt en større strøm av vann oppover i jorda enn nedover. Dette kan, hvis veksten kommer sent i gang føre til at gjødsla blir liggende i forholdsvis tørr jord. I tabell 9. er gitt noen tall for elektrisk ledningsevne i samme forsøk som i tabell 8.

Tabell 9. Elektrisk ledningsevne i forsøk med tidligst mulig såing, NLH 1975, Prøveuttak 15/7 1975.

Jorddybde	Såtid	Ledningsevne
		mS/cm
0- 5 cm	3/4	0,58
"	2/5	1,30
5-10 cm	3/4	0,45
"	2/5	0,22
10-15 cm	3/4	0,18
"	31/5	0,16

Først i 10-15 cm er forskjellene jannet ut. Det er ganske tydelig at gjødsla ikke i samme grad er tatt opp ved den senere såtida. Under så tørre forhold som 1975 kunne det kanskje også ha vært tilfelle ved radmylding av gjødsel, selv om det ikke er særlig sannsynlig .

Rotutvikling og såtid.

Det er ganske klart at en av de største fordelene ved tidlig såing av korn er å få rotutviklingen i gang mens jorda ennå er fuktig og for leirjordas vedkommende ennå myk. I et forsøk med N x såtid (Lyngstad, 1973) ble det i 1967 gravd opp røtter. Mengdene av grove røtter, som er mest nøyaktig bestemt, er gitt i tabell 10.

Tabell 10. Mengde av grove røtter, kg pr. dekar, målt som organisk materiale, i et forsøk med N x såtid. Toradsbygg. Middels stiv leire NLH.

Jorddybde	Såtid	Kg N pr. dekar			
		2,3	4,7	7,0	9,3
0 - 20 cm	26/4	40	60	110	180
	29/5	30	50	80	30
20 - 60 cm	26/4	15	15	30	10
	29/5	10	15	25	5

Tendensen er at rotmengden i topplaget er langt større ved tidlig enn ved sein såing og at rotmengden har økt til største N-mengde ved tidlig såing, men bare til nest-største ved sein såing. I laget under er det mye mindre av grove røtter, men også der er tendensen noe av den samme. I 20-60 cm har

hverken tidlig eller sein såing gitt noen stor rotmengde ved største N-mengde. Beklageligvis er det vanskelig å få et godt mål for mengden av fine røtter.

Sluttmerknader.

Det er ved en del forsøksresultater søkt å vise at jordarbeiding og såing ved fuktighet som er større enn vanninnholdet ved smuldring kan gi en avlingsgevinst av korn ved svært tidlig såing. Dette kan forklares på flere måter. Uttørkingen er alltid langsom tidlig på våren. Ofte kommer det regn flere ganger etter såing, noe som bidrar til full spiring, fullt opptak av næringsstoffer og tett busking. Den herdingsprosessen som leire er utsatt for ved uttørking vil være verst for planteveksten hvis såingen og jordarbeidingen kommer foran en lang, varm og tørr periode. Hvis såtida utsettes har kveka og andre flerårige ugras muligheter for å nytte tida til fotosyntese og næringsopptak og de blir derfor vanskeligere å motarbeide.

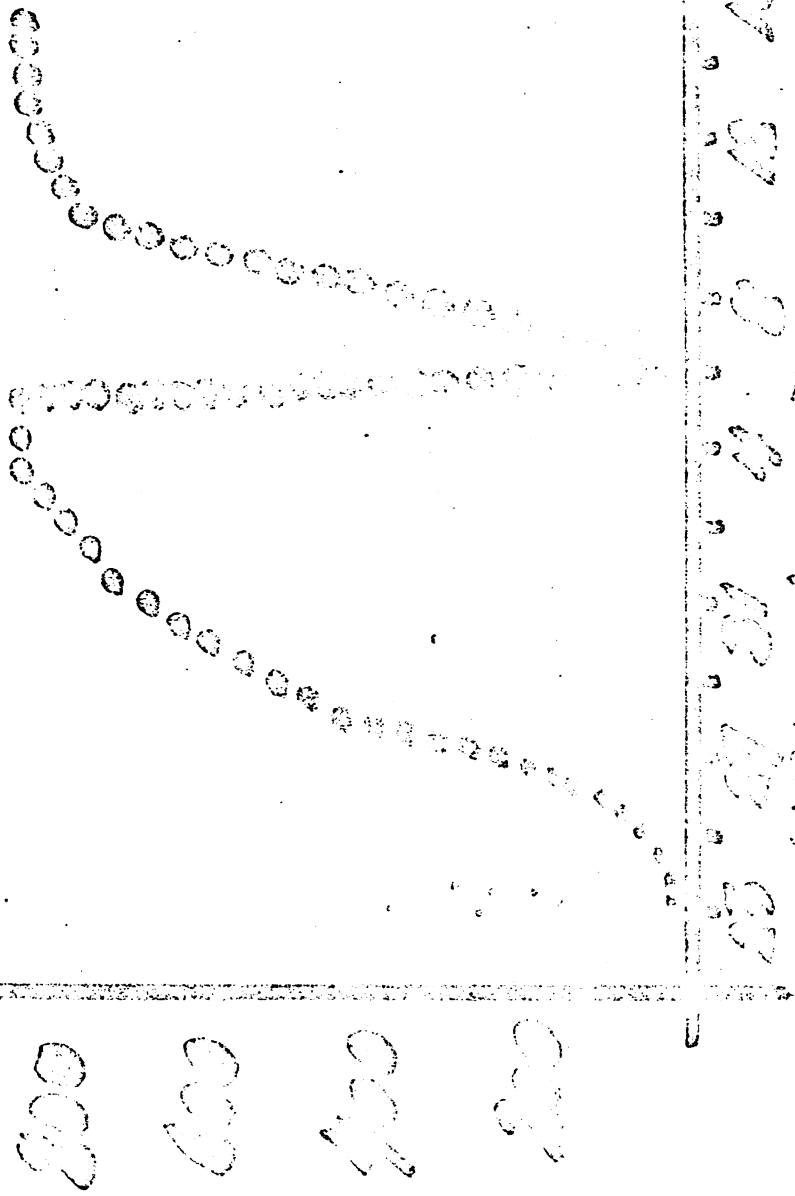
Ved svært tidlig såing må en likevel passe på at jorda har tilstrekkelig bæreevne for maskinene. Antall arbeidsganger må reduseres til et minimum slik at minst mulig av arealet blir tilpøkket.

I enkelte år kan det slå feil med tidlig såing, nemlig hvis den lange, tørre perioden kommer svært tidlig. Det hendte i 1970, og for enkelte i 1975. De siste årene har ellers vært uvanlig gunstige med hensyn til tidlig våronn.

Det hver enkelt kan gjøre for å komme tidlig igang om våren er å sørge for at alt utstyr er i orden og alle varer er på plass i god tid, at jorda er godt grøftet, og at overflatevann har avløp. Det siste bør vies noe større oppmerksomhet, ved f.eks. slakke renner i terrenget mot samlekummer, renner som er lagt slik at de ikke forstyrrer det årlige jordarbeid.

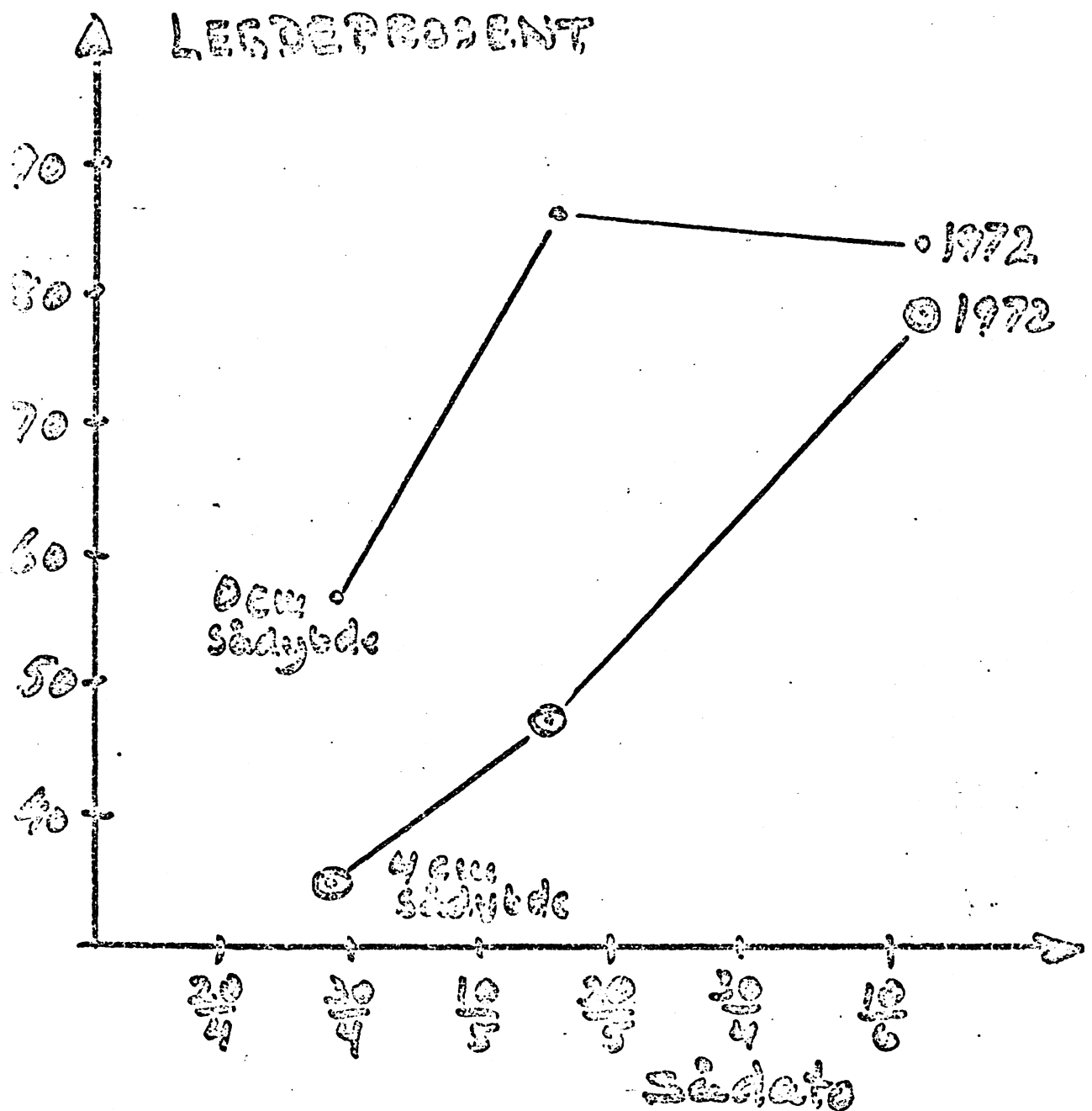
For de områdene hvor det er vanskelig å komme til på de helt tidlige tidspunktene er det nok av betydning å velge sorter som er tidlige nok til å kunne høstes mens været er brukbart. En slags hovedmålsetting på Sørøstlandet må være at kornet skal være i hus i august og ikke seinere enn 10. september. Etter den tida minker sannsynligheten for brukbart høstevær, jorda mettes opp og det blir vanskelig å rekke stubbarbeiding.

Wash-Sigs, Wash, W. 13.30
i 5 cu dybada



Wash-Sigs, Wash, W. 13.30
i 5 cu dybada

Wash-Sigs, Wash, W. 13.30
i 5 cu dybada



LEGEDEPROSENT I RANNEFORSØG
MED SÅVINDER OG SÅTIDER

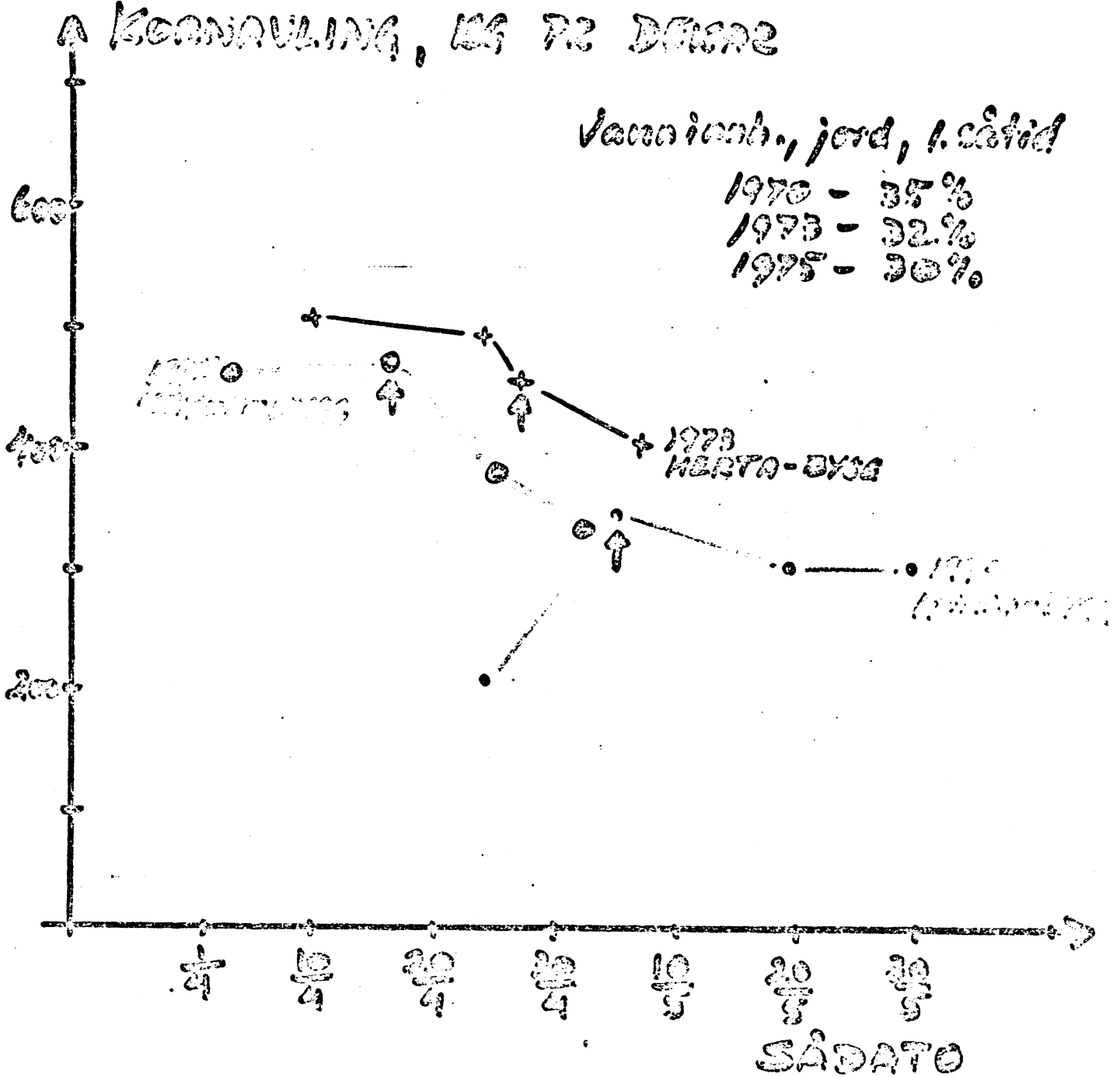
KORNAVLING, 126 72 DEGRE

Vanninnh., jord, 1. sätid

1970 - 35%

1973 - 32%

1975 - 30%



DYGRAVLINGEN I FÖRSTEN

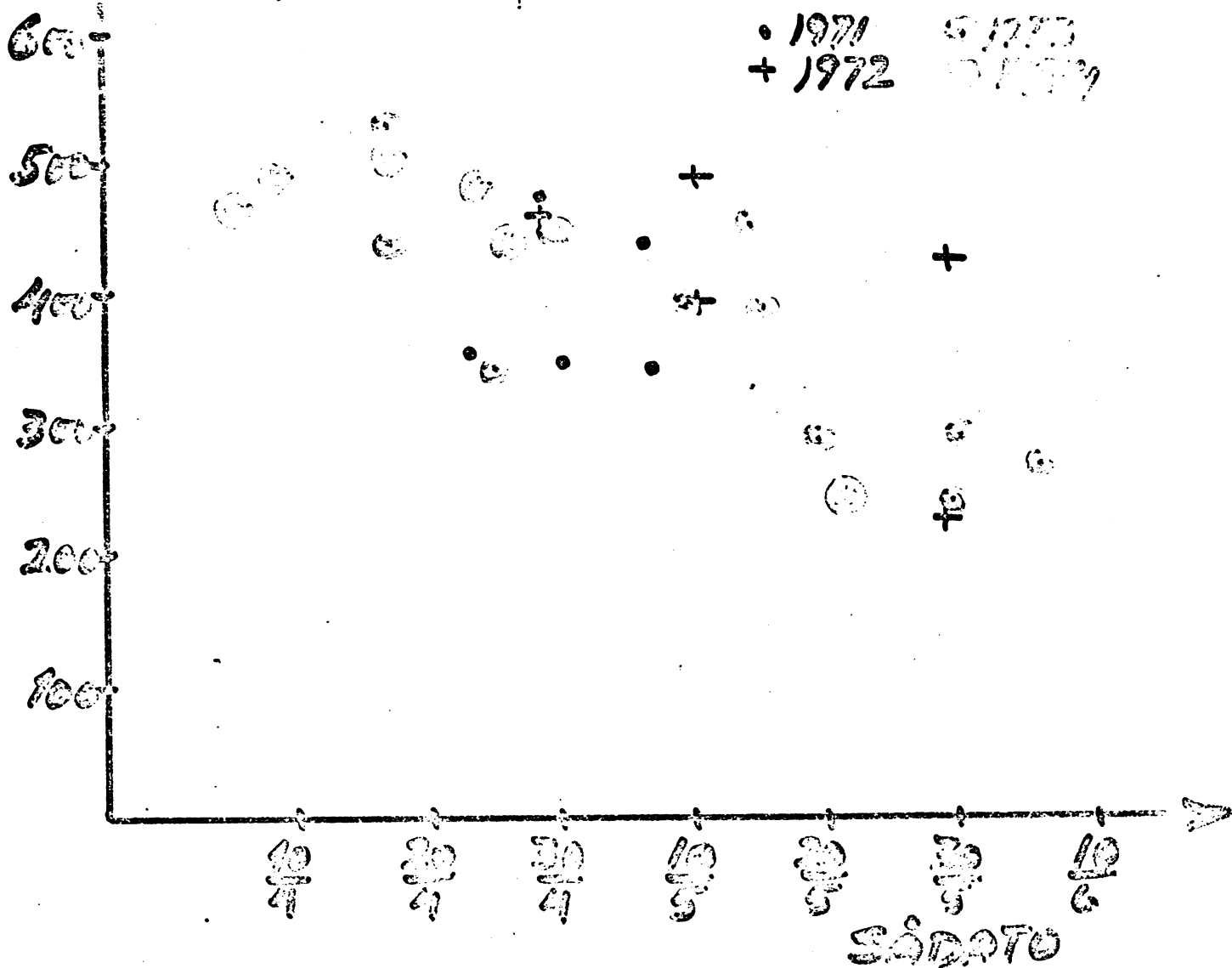
MEG. TIDIGST ANLIG. SÄNING.

SETERE LAGRE, ÅS

FÖLJENDE VIKEN FÖRSTO DATO FÖR SÄNINGEN

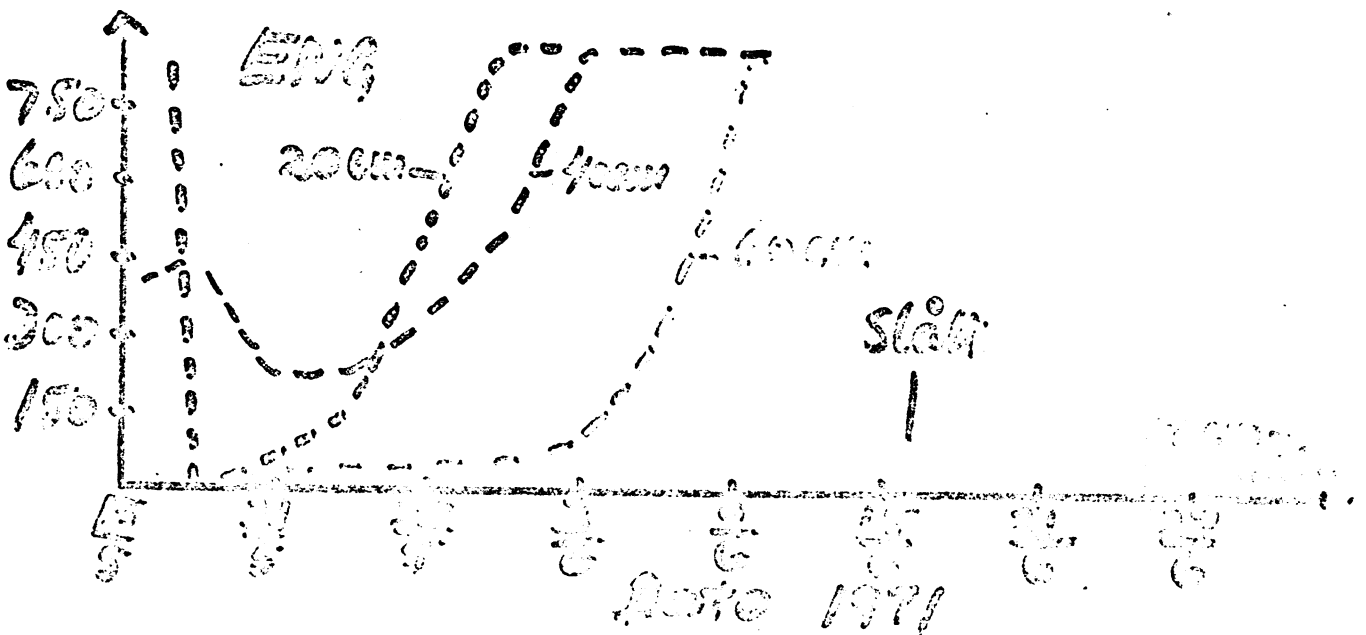
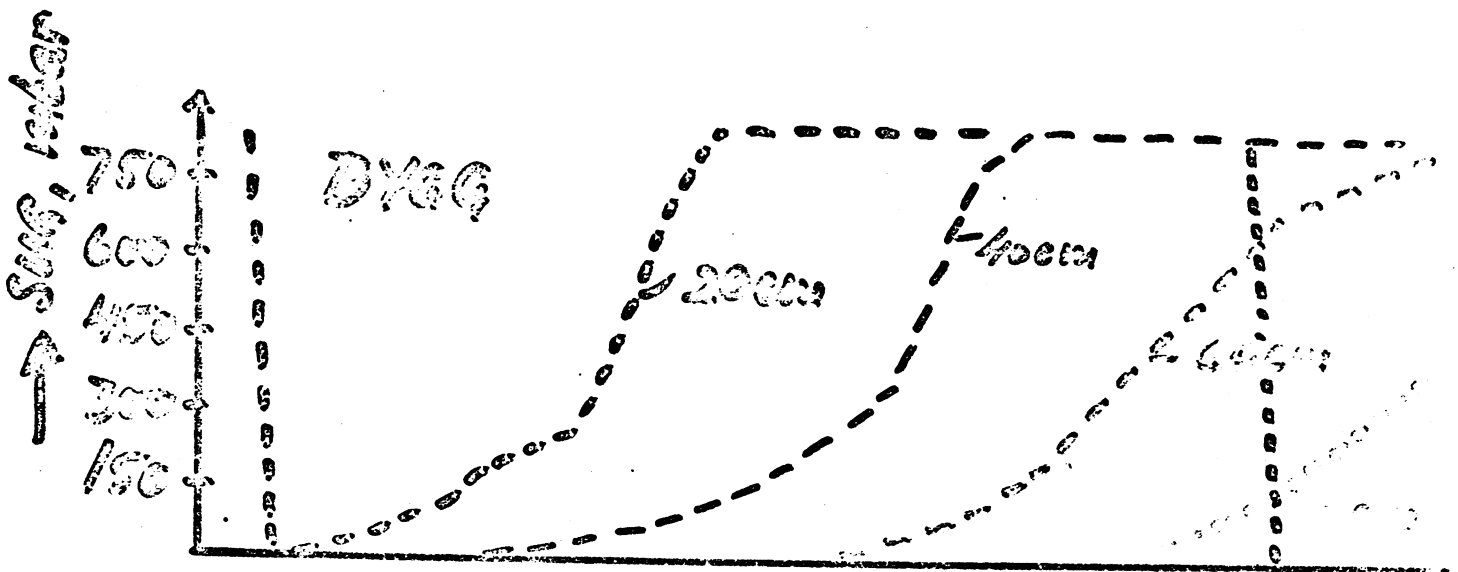
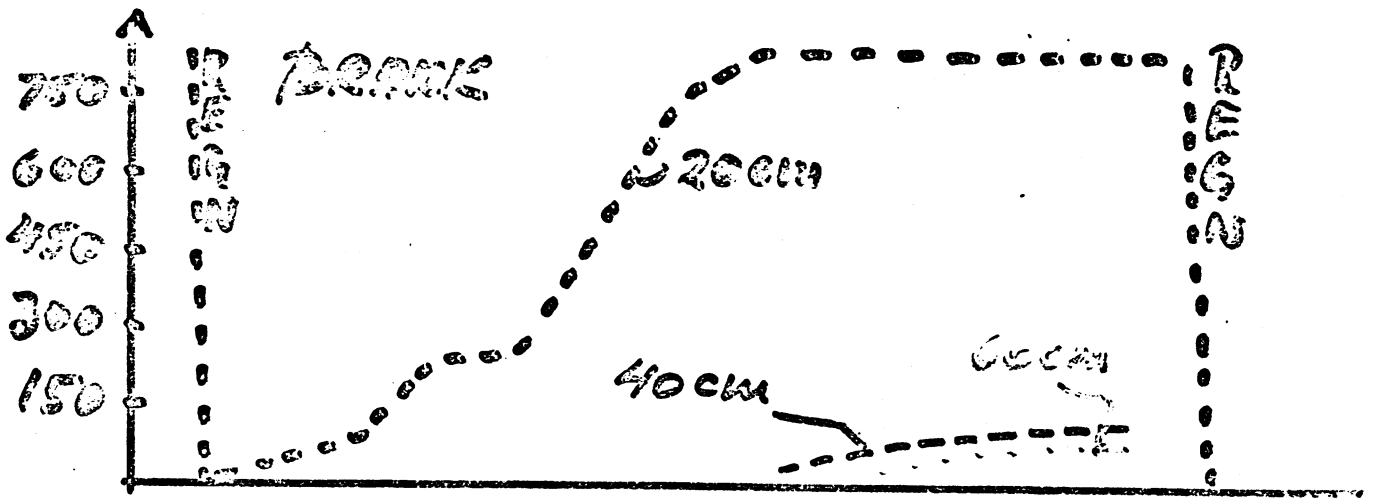
Utförning 12.4.72 i Tullgö. C

A. P. VING, 105 KORN TR. DEKOR



KORNAVLINGER. I SPÆDTE PERIODE
 MED TIDLIG JORDBEHANDLING OG SÅNING.
 SØRØSTLANDET 1971-75.
 NI FELTER PÅ LEIRBOD - TO PÅ SANDVIG

UTVIRKING VED ULIC MARKEDER

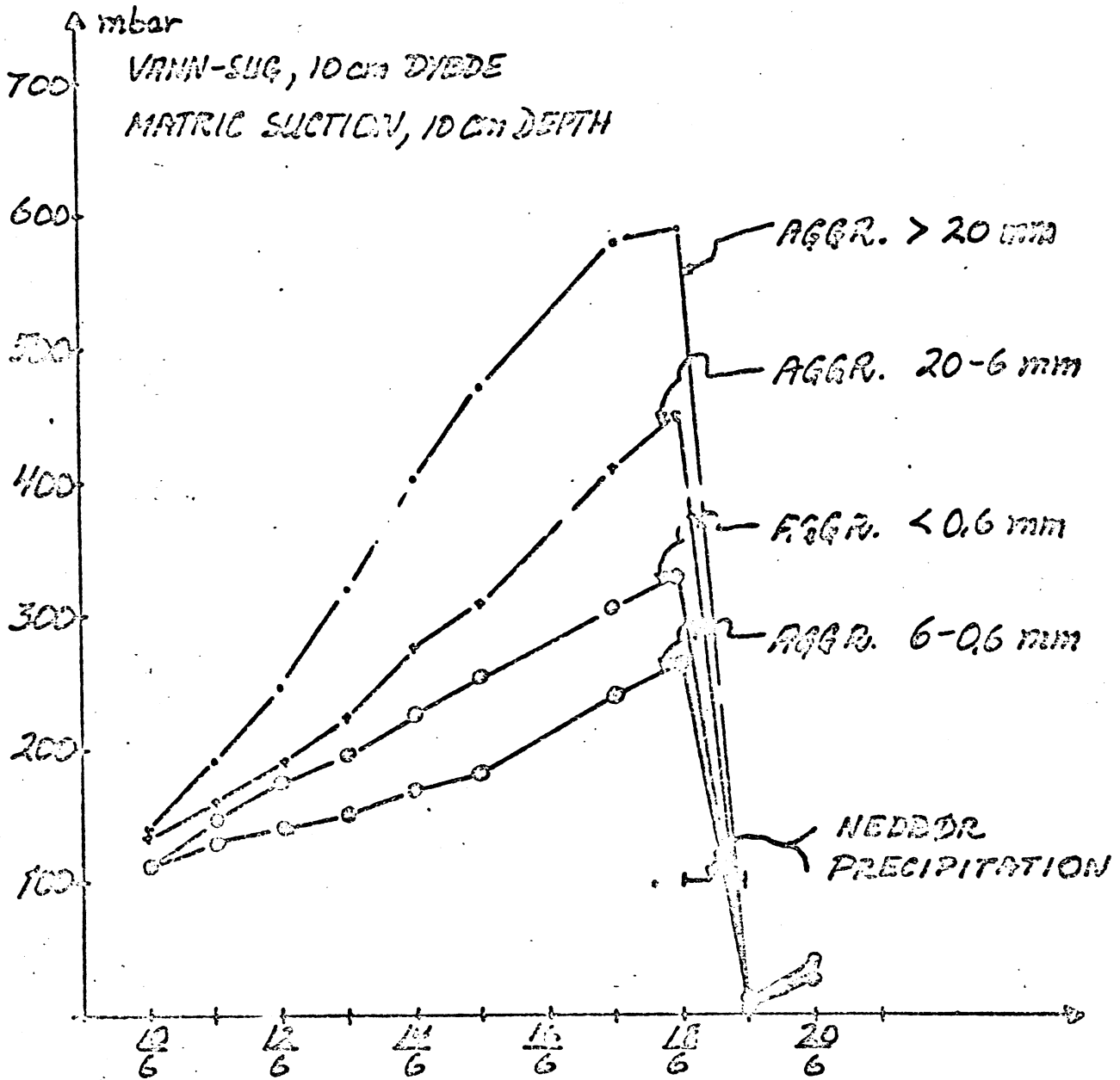


Figur 2.

A. NIS

UTTØRNING AV LEIRJORD MED 3cm DEKKLAG
AV AGGREGATER - JUNI.

DRYING SEQUENCE OF A CLAY SOIL, COVERED BY
AN AGGREGATE LAYER, 3cm IN THICKNESS - JUNE.



DATO, JUNI 1968

DATE, JUNE 1968

Arnor Njøs

Institutt for jordkultur, NLH

Plogfri jordarbeiding

Noen norske og utenlandske resultater.

Ploggen er symbolet på den vesterlandske jordbrukskultur. Ordet ploglag brukes som navn på den øverste delen av dyrket mark, matjordlaget. Ploggen har gjennomgått en lang utvikling fra gravekjepp eller hakke til ard-treplog-stålplog. Det er to trekk ved plogens arbeidsmåte som skiller den fra mange andre jordarbeidingsredskaper:

- 1) Økning av jordas porevolum uten finmuldring
- 2) Vending av en forholdsvis sammenhengende jordstrimmel, ei plogvelte

I det allsidige vekstomløpet med eng var ploggen et uunnværlig redskap. Hvordan skulle en ellers få drept grassvorden og unngå halvblending med eng i første åkerår? Kjemiske midler mot grassvoll har ikke vært aktuelle før de siste ti-år. I 1977 er det store jordbruksområder hvor det praktiseres et ensidig åkeromløp. I disse områdene er plogens oppgave for ombryting av voll falt bort.

I andre land og andre verdensdeler har det vært områder med nesten rent åkerbruk også i tidligere tider. Det har vært diskutert - og prøvd i praksis - andre arbeidsmåter enn pløying. I Frankrike ble kultivator brukt istedet for plog av en mann ved navn Jean under første verdenskrig. Metoden vakte interesse også i Tyskland (Mangel på trekraft!) Under 2. verdenskrig skrev Faulkner (1943) en bok med tittel Plowman's folly (Pløyerens dårskap) der han hevdet det var galskap å begrave det øvre jordlaget hvert år. I de tørre områdene i USA ble det prøvd ut en arbeidsmetode der en prøvde å beholde planterestene på eller nær overflaten ("matte-dyrking") ved hjelp av kultivator. I Midt-Vesten viste det seg imidlertid at maisavlingene gikk ned og at ugrasmengden økte ved grunnarbeiding. (Se Kuipers, 1970). Den såkalte minimalarbeidingen startet i USA i slutten av 1940-årene med ordteket: "God jordstruktur lages ikke, men kan ødelegges av bensin!" Her lå det en antydning om at mye bruk av traktoren ikke er det samme som nyttig bruk. Pakking med traktor og andre maskiner ble snart erkjent som en av de uheldige sider ved mekaniseringen.

Er jordarbeiding nødvendig?

Gras og andre flerårige vekster vokser uten årlig jordarbeiding. Korn og andre åkervekster trenger derimot hjelp i starten - men hvor mye? Vi kan neppe gi svar på hvor mye jordarbeiding som er nødvendig, men vi kan si at moderne planvernmidler, tidligere såing, tilstrekkelig gjødsling har gitt oss større valg-

muligheter. Det er i hvert fall helt klart at minst mulig jordarbeiding er en fordel, både fra jordstruktur- og kostnadssynspunkt. Den nederlandske forskeren van Ouwerkerk (1976) har stilt opp følgende jordarbeidingsystemer:

System	Pakking	Løsning
Løs-kultur	-	+
Tradisjonell jordarbeiding	+	+
Rasjonell jordarbeiding	-	-
Null-arbeiding	+	-

I løskultursystemet, som en bare kan oppnå i senger eller i driller, er det ingen pakking der plantene skal stå. Ved den tradisjonelle jordarbeidinga, f.eks. til korn, er det mye pakking og mye løsning av jorda. Ved null-arbeiding praktiseres direkte såing. Det foregår betydelig pakking, men ingen løsning. Ved bruk av såkalt rasjonell jordarbeiding prøver en å unngå både løsning og pakking. I praksis bruker en imidlertid plog til poteter og rotvekster og f.eks. kultivator i kornårene.

Kahnt (1976) bruker begrepene mekanisk, kjemisk, biologisk jordarbeiding. Den kjemiske jordarbeidinga består i bruk av plantevernmidler, kalk og gjødsel.

Disse tilførselene øker konkurransevnen for åkervekster. Den biologiske jordarbeidinga utføres av røtter, smådyr og andre levende organismer i jorda.

Kahnt deler den mekaniske jordarbeidingen i utføringsformer:

Tradisjonell jordarbeiding - Årlig pløying

Minimalarbeiding.

1. Forenklet jordarbeiding - Årlig pløying + redskapskombinasjoner
2. Direktesåing - Ingen pløying

Han sier videre at det er mange felles virkninger av jordarbeiding og vekstfølge (omløp):

Arbeid	Jordarbeiding	Vekstfølge
Jamning	+	-
Rensing (gjøre jorda svart)	+	-
Smuldring	+	+
Løsning	+	+
Fortetting, pakking	+	-
Mobilisering (f.eks. N, C)	+	+
Optimalisering (f.eks. O ₂ , H ₂ O, temperatur)	+	+
Opphenting (f.eks. stein, leire)	+	-
Blanding (f.eks. halm, husdyrgjødsel)	+	-
Undertrykking (ugras, sykdommer)	+	+

I samband med jamning bør en nevne at det kan oppnås det motsatte resultat (profilering, f.eks. ved oppdrilling). Hvis en tar med at det må brukes maskiner til andre vekster enn korn, er det klart at det kan oppstå pakking/fortetting også under overskriften vekstfølge.

Det organiske materialet.

Det normale er at C- og N-innholdet er størst i udyrket jord og avtar ved årlig jordarbeiding. Det er eksempler på at oppdyrking og årlig jordarbeiding har redusert humusinnholdet til det halve i løpet av en treårsperiode (Kononova, 1966 om nydyrket og vannet serosemjord i Syd-Sovjet).

Tid etter oppdyrking	% C	% Nedbrutt
Udyrket	0,78	
Bomull, 1. år etter dyrking	0,60	23
" 2. " " "	0,48	38
" 3. " " "	0,38	50

Derimot nevner hun at i chernozem-jord ("svartjord") ble bare 8 prosent av humusmengden nedbrutt i løpet av en 10-årig åkerperiode og 16 prosent nedbrutt etter 28 års åkerbruk. Denne jorda lå i et tørt område. For podsollignende jord nevner hun en nedgang på 43 prosent av humusmengden etter 13 års brakk uten gjødsling og 9 prosent nedgang etter 13 års brakk med husdyrgjødsel. I Norge har Uhlen (1967) funnet 3,40 prosent C i rent åkeromløp mot 3,53 % C i et åker-eng omløp med 2/3 eng - 14 år etter start av et forsøk som var lagt på tidligere dyrket jord. Det er altså en tæring på humus- og N-reserver under åkerbruk. En reduksjon av den årlige jordarbeidinga vil redusere omsetningen og spesielt vil grunnere jordarbeiding føre til en opphoping av organisk materiale i det øverste jordlaget. Etter 0-arbeiding har det vist

seg at oppsamlingen av N er noe mindre enn av C, noe som betyr at C/N-forholdet har økt i det øvre jordlaget. Cannell & Ellis (1976) viste at nitratinnholdet i jorda var mindre etter direkte såing enn etter pløying og at det var tegn som tydet på denitrifikasjon under våte forhold der det ikke var pløyd.

I jord med lite humusinnhold, f.eks. planert leirjord må det være direkte feil å pløye dypt hvert år. En redusert og grunn jordarbeiding kan med tida bygge opp humusinnholdet i topplaget. Dette vil øke infiltrasjonsevnen til jorda og dermed redusere faren for erosjon og skorpedanning.

Fordelingen av næringsstoffer.

Fosfor og kalium har vist en tydelig tendens til oppsamling i de øverste få cm av matjordlaget ved nullarbeiding. Derimot er det påvist mindre Ca og Mg i topplaget etter nullarbeiding.

Samspill jordarbeiding x nitrogengjødsling.

I utenlandske forsøk har det vist seg at avlingsøkningen for stigende nitrogenmengder fortsetter lenger for redusert jordarbeiding enn for jordarbeiding med plog (Mahnt 1976). Dette kan antagelig forklares ut fra C/N-forholdet, som nevnt tidligere. Det er også en erfaring at optimal jordarbeidingsdybde avtar med stigende N-gjødsling. Dette kan forklare hvorfor det tidligere var vanlig å oppnå ganske stor avlingsøkning for dyp pløying f.eks. på Balkan. N-gjødslingen lå der på et lågt nivå.

Forutsetninger for redusert jordarbeiding.

De tekniske forutsetningene for plogfri eller redusert jordarbeiding er at trekkmaskiner og redskaper er tilpasset arbeidsmåten. Før såing direkte i uarbeidd jord må det brukes spesielle skålmaskiner, eller kombimaskiner med fresekniver som arbeider en smal stripe for sålabbene. Det kan også brukes en kombinert fresersåmaskin, hvor hele såbredden freses. Disse maskinene er tunge og krever store traktorer med sterk hydraulikk. For vanlig redusert jordarbeiding er tunge skålharver eller kultivatorer skikkelig redskap. Kultivatorene bør ha betydelig frigang både i høyde og side for ikke å tettes til av halm (70 cm avstand mellom tinder - 25 cm mellom tindedrag - 75 cm mellom ramme og tindespiss iflg. Køller, 1976).

De kjemiske forutsetningene for redusert jordarbeiding er at det brukes optimale mengder av N-gjødsel og at det fins virksomme ugrasmidler.

De biologiske forutsetninger dreier seg om vekster, vekstskifte, ugras og mengde av planterester. Det er svært vanskelig å unngå pløgen til poteter og rotvekster, mens det er lettere å greie seg med andre redskaper til korn. En rasjonell arbeidning kan tilpasses et omløp med pløying det året det er poteter eller rotvekster, f.eks. hvert 4. år. Det har vist seg omtrent umulig å unngå formering av enkelte rotugras ved null-arbeiding, og det kan være vanskelig nok å mestre ugraset ved redusert jordarbeiding. På den annen side vil en unngå å bringe opp uspirt, gammelt ugrasfrø, noe som skjer ved årlig pløying. Halmmengdene fra siste høsting kan være en alvorlig hindring for såing der det praktiseres null-arbeiding. Problemet er tilstede også ved redusert jordarbeiding. Det kreves en grundig kutting og spredning av halmen før arbeidning.

Forsøksresultater med plogfri jordarbeiding i Norge.

Ved Institutt for jordkultur er det utført en rekke forsøk der pløying + harving er sammenlignet med fresing. I 1957 ble det utført et forsøk med forskjellige ombrytingsmåter for voll:

Tabell 1. Relative avlinger av korn etter ulike arbeidsmåter for ombryting av voll. 1957.

Arbeidsmåte	Relativ avling
Høstpløying + harving om våren	100
Vårpløying + " "	89
Fresing høst og vår	92
2 ganger fresing om våren	64

Det var svært mislykket med vårfresing på grunn av at det ble en blandingsbestand av korn og gras.

I en forsøksserie 1959-63 med tilsvarende forsøksplan i rent kornomløp ble det også minst avling etter vårfresing. Se tabell 2.

Tabell 2. Avlinger av vårkorn og prosent flerårige ugras (vesentlig kveke) etter ulik jordarbeiding. 16 høstinger.

Behandling	Relativ kornavling	Prosent ugras
Høstpløying + 2 harvinger om våren	100	14
Vårpløying + " "	94	21
Fresing høst og vår	93	10
2 ganger fresing om våren	86	22

De fleste forsøkene ble utført på leirjord.

Tabell 2 viser at det var minst avling etter fresing om våren. Såbedet ble svært løst og tørket ut. Det er trolig at fresing høst og vår ville gitt større avling hvis fresingen om våren hadde vært grunnere. (Det ble frest til 15-20 cm dybde hver gang).

I et forsøk på Romerike på siltig sand ble det forsøkt å ta inn et ledd med bare harving. Resultatene for fire år med korn og to år med poteter er gitt i tabell 3.

Tabell 3. Avlinger, kg pr dekar, tørrstoffprosent i korn og legdeprosent i korn i et flerårig forsøk på Romerike 1964-1970.

Behandling	Kg pr dekar		Prosent tørrstoff korn	Prosent legde korn
	Poteter	Korn		
Høstpløying	2640	360	82,3	45
" + 1 harving like etter pløying	- 100	+ 2	- 0,1	- 7
Vårpløying	+ 250	+ 1	+ 0,1	- 2
" + " " " "	- 10	- 5	+ 0,9	- 7
Ikke pløyd, men harvet om våren	- 250	- 10	+ 1,2	-11

Det var tydelig at potetavlingene ble redusert ved å utelate pløying, mens kornavlingene holdt seg oppe. I korn var tørrstoffprosenten størst og legdeprosenten minst der det ikke var pløyd. Rotugraset ble ikke noe problem i dette forsøket på grunn av vekstskifte og fordi det var så ugrasrent ved start. I poteter har vårpløying gitt størst avling, noe som ofte er vanlig på denne jorda. En jammeharving like etter pløying har redusert potetavlingen.

Høsten 1975 ble det anlagt noen forsøk med plogfri jordarbeiding på Sørøstlandet. Resultatene for 1976 er gitt i tabell 4.

Tabell 4. Kornavlinger 1976 i fire forsøk med pløying x stubbharving på Østlandet.

Behandling	Kg korn pr dekar	
	3 felter leirjord	1 felt siltjord
Ikke pløyd	278	362
" + stubbharving	- 13	- 20
Høstpløyd	- 11	- 42
" + "	- 11	- 27
Vårpløyd	- 19	+ 25
" + "	- 35	+ 2

Det går fram av tabellen at det var størst avling etter vårpløying på silt-jord, mens det var minst avling etter vårpløying på leirjord. Plørfri jordarbeiding sto ellers fullt på høyde med de pløyde rutene på leirjorda.

Disse feltene vil bli mer interessante når de har ligget noen år.

Vi tar også med noen danske forsøksresultater etter Olsen (1976). I de danske forsøkene besto den reduserte jordarbeidinga i å utelate høstpløying og erstatte vårharving med fresing. Sum mannsarbeidstimer var 5,7 timer/ha for tradisjonell jordarbeiding, og 3,0-3,6 timer/ha for redusert jordarbeiding. Det er ikke lett å vurdere resultatene fra forsøket fordi det ble sådd senner som grønn gjødsel ved redusert jordarbeiding, men ikke ved tradisjonell jordarbeiding. Avlingsresultatene er gitt nedenfor.

År	Kg korn pr dekar	
	Tradisjonell jordarbeiding	Redusert jordarbeiding
1973	460	440
1974	450	480
1975	380	440
1976	250	320
Middel.	385	420

Det er særlig i de to tørkeårene 1975 og 1976 at den reduserte jordarbeidinga har vist seg brukbar.

Ellers kan det nevnes fra en rekke undersøkelser i England og Mellom-Europa at minimalarbeiding eller redusert jordarbeiding ser ut til å være en sikrere arbeidsmåte enn ren 0-arbeiding. Det har også blitt lagt merke til at bæreevnen for jorda er større etter null-arbeiding enn etter pløying, og at det blir svært mye av meitemarkganger under det porøse topp-sjiktet der det ikke er pløyd. Dette gjelder både null-arbeiding og annen plørfri, grunn jordarbeiding. Dessuten er det observert negative virkninger av null-arbeiding på dårlig drenert mineraljord. På myr har det vært en fordel med minst mulig arbeidning.

Fotsykdommer i bygg og kveite.

Hood (1965) undersøkte forekomsten av fotsykdommer i høstkveite og fant en reduksjon av rotdreper (Ophiobolus graminis) og stråknækker (Cercospora herpotrichoides Fron) ved nullarbeiding (direkte såing) i forhold til vanlig arbeiding med plog.

Brooks & Dawson (1968) observerte i kontinuerlig høstkveite at selv om kornplantene viste samme angrepsgrad for rotdreper om våren, var det i tiden før høsting mindre angrepsgrad etter null-arbeiding enn etter normal jordarbeiding med pløying. Også angrepet av stråknækker var mindre etter null-arbeiding enn vanlig arbeiding. Dette står i et visst motsetningsforhold til eldre litteratur (Cox & Cock, 1962) hvor det ble hevdet at smitting med stråknækker i første rekke var avhengig av antall smittebærende strå på overflaten.

Schwerdtle (1971) fant i tyske forsøk at angrepsgraden av stråknækker i tredje år med høstkveite var mindre ved plogløs jordarbeiding (fresing eller direkte såing) enn ved vanlig jordarbeiding med pløying. For rotdreper fant han sterkt redusert angrep ved direkte-såing i forhold til fresing eller pløying.

Disse utenlandske undersøkelsene er forholdsvis oppmuntrende for en plogfri jordarbeiding. En bør undersøke problemet under norske forhold og særlig legge vekt på de langsiktige virkningene.

Til slutt bør det nevnes at Brooks og Dawson (1968) observerte en viss tilbakegang i angrepsgraden av rotdreper og stråknækker i fjerde år med høstkveite i forhold til tredje år. Dette kan tyde på at begge sykdommer med tiden blir utsatt for mot-aksjoner fra naturlige fiender.

Praktiske konsekvenser.

Plogfri jordarbeiding omfatter både null-arbeiding med direkte såing og redusert jordarbeiding eller minimalarbeiding. I Norge er det for tidlig å si om null-arbeiding kan få noen betydning. Derimot ser det ut til at redusert jordarbeiding kan ha noe for seg i rene kornomløp. I ømløp med korn og poteter kan en pløye i potetåret og sløyfe pløying de andre årene. Forutsetningene for å sløyfe pløying er at det er ugrasreint når en starter, at en greier å holde ugraset nede, at halmen kan blandes inn på en slik måte at det blir mulig å bruke såmaskin, at en sår tidligst mulig om våren, og at en gjødsler optimalt. På

planert leirjord og i steinrik jord burde plogfri jordarbeiding kunne brukes med fordel, likedan ved dyrking av grasfrø. I de typiske morenejordområdene passer det best å pløye og kjøre steinsamler ett av 4-5 år og så greie seg uten plog innemellom. Tunge skålharver og romslige kultivatorer er sannsynligvis brukbare redskaper for plogfri jordarbeiding.

L i t t e r a t u r

BROOKS, D.H. & DAWSON, M.G. 1968.

Influence of direct-drilling of winter wheat on take-all and eyespot. Ann. Appl. Biol. 61, 57-64.

CANNELL, R.Q. & ELLIS, F.B. 1976.

Direct drilling (zero tillage) and shallow cultivation on a range of soils in the United Kingdom.

Proc. 7th Conf. ISTRO; Uppsala 1976, 6:1-6.

COX, J. & COCK, L.J. 1962.

Survival of Cercospora herpotrichoides on naturally infested straws of wheat and barley.

Pl. Path. 11, 65-66.

FAULKNER, E.H. 1943

Plowman's folly, N.Y.

HOOD, A.E.M. 1965

Ploughless farming using "Gramoxone".
Outlook Agric. 4, 286-294.

KAHNT, G. 1976.

Ackerbau ohne Pflug.
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

KONONOVA, M.M. 1966.

Soil organic matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Pergamon Press. Oxford 2nd English ed.

KUIPERS, H. 1970.

Introduction: Historical notes on the zero-tillage concept.
Neth, J. agric Sci. 18, 219-224 (Papers on zero-tillage).

KØLLER, K. 1976

Problems of straw mixing with heavy cultivators in ploughless tillage systems and consequences for seedbed preparation and seedling emergence.

Proc. 7th Conf. ISTRO, Uppsala 1976, 22:1-6.

OLSEN, E. 1976.

Reduceret jordbehandling. Arbejdsbehov og teknik.
Kort medd. nr 30. De landbrugstekniske undersøgelser.
Ørritslevgaard., 1-24.

OUWERKERK, C. van 1976.

Alternatives for ploughing.
Proc 7 th Conf. ISTRO, Uppsala 1976, 29:1-5.

SCHWERDTLE, F. 1971.

Untersuchungen zum Direktsaatverfahren im Vergleich zu herkömmlicher
Bestellung bei verschiedenen Kulturen unter besonderer Berücksichtig-
ung der Unkrautflora. KTBL-Ber. Landtech. 149, 1-139.

UHLEN, G. 1967

Moldinnholdet i jorda. Virkning av driftsform og gjødsling.
Jord og Avling 4/1967, 21-23.

- En god oversikt finnes i artikkelen:

BAEUMER, R. & BAKERMANS, W.A.P. 1973:

Zero-tillage
Adv. Agron. 25, 78-123.

DJUPARBEIDING

Forsøksresultater og erfaringer i årene 1959-1979

av

Arnor Njøs

Institutt for jordkultur, Norges landbrukshøgskole

Innledning

Djuparbeiding er all slags jordarbeiding som går djupere enn vanlig pløyedybde. Vanlig pløyedybde er omtrent det samme som dybden av matjordlaget - humuslaget i kulturjord. Jordblanding er blanding av ulike lag i et jordprofil, for eksempel humuslaget og et underliggende sandlag. Den kan utføres med spade, plog, gravemaskin eller gravehjul. Omgraving er jordblanding ved hjelp av graveredskap som spade eller gravemaskin. Grubbing er arbeiding med djuptgående tinder. Grubbetinder kan være montert på egen ramme, plog eller annet redskap, med trekk av traktor eller bulldoser. Grubbing er ikke fullt så entydig som de andre begrepene med hensyn til dybde, men blir mest brukt om arbeiding djupere enn ploglaget. Ved plogfri jordarbeiding kan en imidlertid tenke seg grubbing brukt om arbeiding som går djupere enn det laget som blir harvet.

Grøfting er en spesiell form for djuparbeiding hvor det både er omgraving og drenering samtidig. På tett jord blir mye av det drenerte vannet transportert i ploglaget fram til og ned gjennom grøftefylla. Her er det i tørkeår vanlig å se bedre vekst over grøftene enn mellom dem. Oppgraving av grøftefylla viser en djupere og tettere rotutvikling enn i jorda mellom grøftene. Det er rimelig å føre dette tilbake til en bedre vann- og næringshusholdning i grøftene. Spesielt over gamle steingrøfter kan det bli svært frodig vekst i tørkeår. Jorda i steingrøfter er forholdsvis moldrik etter mange tiår med kraftig vekst og tett rotutvikling.

Det var rimelig å tenke seg at en djup jordarbeiding kunne gi omtrent samme virkning som grøftene. I 1959 var det tørkesommer på Østlandet. Grøftene sto mange steder som grønne,

frodige striper i en ellers pistrete åker eller eng. Dette var vanlig på mange slags jord, men kanskje mest på leirjord. En forsøksserie med pløying og grubbing til 35 cm dybde ble satt i gang ved Institutt for jordkultur, Norges landbrukshøgskole. Denne serien ble ^{senere} avsløst av en forsøksserie med djuparbeiding av lagdelt jord. Den siste serien var en samarbeidsoppgave for Institutt for jordkultur og Landbruks- teknisk institutt (LTI). Hans Aamodt har i alle år tatt seg av djuparbeiding ved LTI. Fra 1970 ble djuparbeidingsforsøkene ledet av Styringsutvalget for nydyrking og grunnforbedring (formann Dir. Ole Lie) under Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd.

Hovedtyper av jord i djuparbeidingsforsøkene

I figurene 1, 2 og 3 er vist volumforhold til 1 m dybde for stiv leire, grusholdig sand over leire og moldrik siltjord (oppdyrket torvjord på et underlag av leire). Figurene viser volumfordelingen av humus(mold), sand (partikler av størrelse 2 mm-0,06 mm), silt (partikler av størrelse 0,06 mm - 0,002 mm) og leir (partikler mindre enn 0,002 mm).

Fig. 1, 2, 3.

Videre er volumfordelingen av ulike porestørrelser vist. Luftvolumet svarer stort sett til volumet av drenerbare porer. Det er forholdsvis sjelden at dette volumet er helt fylt av vann. Etter snøsmelting kan alle porer være vannfylte hvis jorda under, eller dreneringssystemet er frosset. Det drenerbare porevolumet er fylt med luft når det drenerbare vannet har blitt ledet bort. I den frostfrie sesongen kan det bli en slags dreneringslikevekt noen få dager etter langvarige regnvær eller etter grundig vanning. Men det vil være mindre vann enn dreneringslikevekt når vannforbruket til plantevekst er større enn nedbøren. Hvis dreneringsdybden er omkring én meter vil porer større enn 0,03 mm (30 µm) ~~topplaget~~ bli tømt under drenering. Vann i porer som har mindre diameter enn 0,0002 mm (0,2 µm) er så sterkt bundet at planterøttene

vanligvis ikke kan få tak i det. Denne nedre grensa blir kalt visnegrensa. Vann mellom dreneringslikevekt og visnegrense er fysisk sett nyttbart for plantene. Men den biologisk nyttbare vannmengden er avhengig av at det fins et tettmasket rotnett til den dybden vannmengden blir bestemt. Den fysisk nyttbare vannmengden er satt opp for hvert lag ned til 1 m dybde i figurene. Den biologisk nyttbare vannmengden kan være like stor som den fysiske i ploglaget, men er for det meste mindre i dypere lag. Hvis det f.eks. er et rotsperrelag (grus eller sand av minst 15-20 cm tykkelse) er hverken vannet i det laget eller i underliggende lag biologisk nyttbart.

I den stive leira fra Askim er det 103 mm fysisk nyttbart vann til 1 m dybde. Hvis vi ser på volumet av drenerbare porer (luft) er dette svært lite i de dypere lagene. Samtidig er de dype lagene preget av grove aggregater ("klumper") med rotutvikling bare på sideflatene og ikke inni. Bruker vi faktorene 1 - 0,7 - 0,5 - 0,3 for omregning fra fysisk til biologisk nyttbart vann i de fire lagene, regnet ovenfra, blir lagret av plantenyttbart vann 76 mm. I profilet fra Rygge er det 106 mm fysisk nyttbart vann ned til 1 m, men hvis vi regner at lag nr 2 er et rotsperrelag, er det bare 34 mm plantenyttbart vann til rådighet, muligens med tillegg av noen få mm i lag nr 2, slik at totallagret er rundt 40 mm. Dette er nok til å tåle en tørkeperiode på rundt 2 uker. I profil nr 3 er det hele 262 mm fysisk nyttbart vann ned til 1 m dybde. Her er det ingen spesielle hindringer for dyp rotutvikling, bortsett fra at det er lite drenerbare porer (lite luft) i lag nr 2. Den kapillære ledningsevnen kan være av betydning i denne siltjorda. Samtidig er jorda ofte næringsfattig i minerallagene ned til leira. Rotutviklingen er ikke særlig dyp, men det er heller ikke nødvendig.

Selv i typiske tørkeår er det brukbar vannforsyning på siltjorda. Men nedpløying av store halmmengder kan, på grunn av liten luftveksling, føre til et midlertidig rotsperrelag over plogsålen. Djuparbeiding på denne jorda vil gi en bedre næringshusholdning hvis røttene får kontakt med leira under næringsfattige silt- og sandlag.

Djuparbeiding av leirjord

I tabell 1 er vist resultater fra en forsøksserie med djuparbeiding på leirjord. Ett av forsøkene lå på stiv leire i Askim (1960-63), ett på siltig mellomleire i Hole (1963-67) og ett på siltig mellomleire i Ø. Eiker (1963-67). Korn var forsøksvekst de fleste årene.

Tabell 1. Avlinger i fôrenheter pr dekar for tre forsøksfelter på leirjord. Plan I. I alt 14 høstinger.

Behandling	Avling
Normal arbeidsdybde, ca 20 cm	336
Pløyd 35 cm ved anlegg av forsøket	- 5
Grubbet 35 cm ved anlegg av forsøket	+ 1

I middel var det ingen meravling for djuparbeiding. I et forsøk i Stjørdal, anlagt i 1960, var det statistisk sikker meravling for pløying til 35 cm dybde i noen av høsteårene. Ploglaget var i dette tilfelle moldrikt. Det hadde tidligere vært grunn myr på stedet.

I en annen forsøksserie med arbeiding til 50 cm dybde var det heller ingen statistisk sikre meravlinger for djuparbeiding. Forsøksserien var en samarbeidsoppgave mellom Institutt for jordkultur og Landbruksteknisk institutt. Se tabell 2.

Tabell 2. Avlinger i fôrenheter pr dekar for tre forsøksfelter på leirjord. Plan II. Ialt 26 høstinger, 23 med korn

Behandling	Avling
Normal arbeidsdybde (ca. 20 cm)	400
Pløying til 50 cm dybde én gang	+ 3
Grubbet til 50 cm dybde én gang	
Grus i grubbespor	+ 6
Grubbet til 50 cm dybde én gang	
Kalk i grubbespor	+ 5

Kalkgrubbingen var utført med 50-60 cm avstand, mens grusgrubbingen ble gjort med ca 2 m avstand. Ett av forsøkene lå på siltig mellomleire i Marker, ett på stiv leire i Tune og ett på svært stiv leire i Marker. Det var små forskjeller mellom behandlinger på alle tre feltene. Året etter djup pløying var det statistisk sikker avlingsnedgang på den stiveste jorda på grunn av grov overflatestruktur.

Når det gjelder virkning av djup jordarbeiding på fysiske og kjemiske forhold til jorda, viser vi til tabell 3, som gjelder feltet på siltig mellomleire i Marker.

Tabell 3. Skjærfasthet og moldinnhold for jord i 40-50 cm dybde i et forsøk med dyp jordarbeiding på siltig mellomleire i Marker. Feltet anlagt 1969, måling 1977

Analysetall	P-20	P-50
Skjærfasthet, kPa	160	80
Moldinnhold, prosent	0,8	1,5

P-20 = Normal arbeidsdybde

P-50 = Pløyd til 50 cm dybde én gang

kPa = kilopascal, $1 \text{ kp/cm}^2 = 98 \text{ kPa}$

Tabellen viser at løsringen ved djup pløying er svært tydelig selv etter så lang tid som 8 år. Likedan er det blitt større moldinnhold i 40-50 cm dybde etter djup pløying på grunn av plogens vende- og blandevirkning.

En må fastslå at djuparbeiding bare har gitt små virkninger på avling, men en betydelig løsnevirkning, som egentlig skulle ha forbedret dreneringstilstanden og rotutviklingen.

Det kan nevnes at i et vått år som 1963 var det en statistisk sikker avlingsnedgang for djuppløying. Åkeren gulnet i juni på de rutene som var pløyd djupt, noe som tyder på oksygen- og N-mangel. Ser en dette i sammenheng med nedsatt avling første året etter djuppløying i andre forsøk, er det tydelig at et nedsatt humusinnhold i topplaget, mer ustabil struktur sammen

med en viss opphoping av vann etter regnvær, ikke gir samme virkning som den en får i drenert grøftefyll. I Stjørdal, hvor det var mye større humusinnhold i topplaget, førte ikke fortyningen av moldinnholdet til mer ustabil struktur.

Djuparbeiding av sand over leire eller annen finkornet undergrunn

I 1963 ble det satt i gang et forsøk med djup jordarbeiding på sandjord i Sel. Dette ble gjort som en samarbeidsoppgave mellom Institutt for jordkultur og Landbruksteknisk institutt. Se H.Aamodt (1964) og A.Njøs (1964). Den gamle kulturjorda var her, etter opplysninger på stedet, dekket av sand under Storofsen - en storflom i 1789. Sandlaget varierte i tykkelse, fra 45 til over 100 cm. Moldinnholdet i det nye ploglaget, som i 1963 var 174 år gammelt, var ca 2-3%. Mineraljorda var middels til grov sand. Alt i alt var dette en tørkesvak jord. Det gamle, nedgravde kulturlaget var finere og mer moldrikt. Det ble pløyd til ca. 1,2 m dybde. Der ploegen fikk tak i de øvre delene av den gamle jorda, ble det en betydelig forbedring av veksten i årene etter behandling. Der ploegen ikke nådde ned til det gamle jordprofilet, ble det en svært ujevn vekst. Det var regelmessige striper med frodig vekst. Mellom stripene var det svært tynt plantedekke. Avstanden mellom stripene var den samme som pløyebredden. Planter som vokste i de frodige stripene hadde røtter som fulgte det skråstilte topplaget (topplaget dannet etter 1789) langt nedover i jorda. Denne virkningen var helt markert så sent som i 1979 - 16 år etter at arbeidet var utført.

Et forsøk i Rygge ble anlagt i samarbeid med H. Aamodt, Landbruksteknisk institutt, i 1969 på grusholdig sand over leire i utkanten av raet. Avlingsresultatene i dette forsøket er gitt i tabell 4.

Tabell 4. Avlinger, kg pr dekar, i forsøk på sand over leire i Rygge. Middell av 4 høstear i korn.

Behandling	Avling
Pløyedybde ca 23 cm	392
" " 45 " 1969	+ 35
" " 60 " "	+ 57
" " 75 " "	+ 94

Det var statistisk sikker meravling for djup jordarbeiding. Økningen i arbeidsdybde fra 60-75 cm førte til større meravling enn økning fra 45 til 60 cm. I første tilfelle ble det brakt noe leire opp i rotsperrelaget. Dette rotsperrelaget lå fra ca. 23 til ca. 60 cm, kfr. fig. 2. I tabell 5 er vist resultater av enkelte målinger i 1977, 8 år etter anlegg av feltet.

Tabell 5. Målinger av skjærfasthet, moldinnhold og P-Al i 40-60 cm dybde på felt i Rygge i 1977, 8 år etter behandling.

Behandling	Skjærfasthet kPa	Mold- innhold prosent	P-Al mg/100 g
Normal pløyedybde	210	0,4	2,1
Pløyd til 45 cm 1969	180	2,6	2,9
" " 60 " "	120	3,5	4,5
" " 75 " "	100	4,0	5,5

Skjærfasthet var målt i 50-60 cm dybde.

De to største pløyedybdene hadde gitt en løsnevirkning som var målbar 8 år etter behandling. Når både moldinnhold og lettløselig fosfor (P-Al) hadde økt i 40-60 cm dybde etter djupere pløying, må det sees som en kombinert vende- og blande-virkning av ploegen (den danske Bovlundploegen).

I et annet forsøk på djupere sand i Berg, Halden, var det avlingsøkning for pløying til 40 cm dybde. Det var i dette tilfellet for tykt lagt av grov sand mellom den pløyde jorda og leira, til at planterøttene kunne trenge igjennom.

Mengden av nyttbart vann for planteveksten ble tydelig påvirket av djup pløying.

I forsøket i Rygge var mengden av nyttbart vann i 20-60 cm dybde 45 mm før pløying og 62 mm etter pløying til 75 cm dybde. I forsøket i Berg var mengden i 20-40 cm dybde 19 mm før pløying og 28 mm etter pløying til 40 cm pløyedybde. Begge feltene hadde ca 6% humus i ploglaget.

Det ser i det hele ut som om pløying eller tilsvarende form for jordblanding kan gå ned til ca. 40 cm på sandjord dersom det er minst 5-6% humus i det gamle topplaget.

Djuparbeiding av torvjord over steinfri mineraljord.

Et representativt forsøksfelt for torvjord over siltjord ble anlagt i Nes R, 1967. I perioden 1969-77 ble feltet høstet 7 ganger. Det var havre 1. året og 4.-7. året og bygg 2. og 3. året. Tabell 7 viser resultatene.

Tabell 7. Avlinger, kg korn pr dekar, i forsøk på torvjord over sandig siltjord i Nes R. Opprinnelig 15-65 cm torv, deretter sandig silt og siltig sand over leire. I alt 7 høstear...

Behandling	Avling, kg/dekar
30 cm pløyedybde ved anlegg	332
60 " " " "	+ 36
90 " " " "	+ 27
120 " " " "	+ 10

De første årene var det størst avling etter djupest pløying, deretter jamnet det seg ut. Noe av forklaringen kan ligge i at infiltrasjonsevnen ble nedsatt av jordblanding (Hestetun, 1977). I tabell 8 er det vist noen fysiske og kjemiske størrelser som ble målt i 1976 - 9 år etter anlegg av feltet.

Tabell 8. Skjærfasthet, prosent C og P-Al for jord på forsøksfelt med jordblanding av torvjord og siltjord i Nes, R.

Analysetall	Pløyedybde 1967			
	30 cm	60 cm	90 cm	120 cm
Skjærfasthet, kPa 10-20 cm	30	30	42	48
" " 50-60 "	116	72	66	58
C, prosent 0-20 "	23,0	20,4	10,8	7,7
" " 40-60 "	1,6	3,4	9,0	4,3
P-Al, mg/100 g 0-20 "	13,8	11,2	7,8	7,8
" " 40-60 "	1,4	2,0	2,5	2,8

Tallene viser klar blandingsvirkning når det gjelder prosent karbon og lettløselig fosfor. Men av like stor interesse er økningen i fasthet i topplaget ved dypere pløying. Blandevirkningen av plog er ellers ikke imponerende bortsett kanskje fra pløying til 90 cm dybde som ser ut til å ha gitt omtrent like mye organisk materiale i 40-60 cm dybde som i topplaget.

Det er nå i gang jordblanding på myr ned til 2-3 m dybde (Solberg, 1980). Dette kan få stor betydning for bruksegenskapene for slik jord, ved at den blir mer kjørbar og kanskje mer frostsikker. På Fosenhalvøya har herredsagronom Grøva satt i gang jordblanding på sterkt omsatt torvjord. Dette har gitt en stor økning av infiltrasjonsevne og bæreevne (Grøva, 1980).

Sammendrag

Jordblanding ser ut til å ha stor positiv virkning på grovkornet jord med et forholdsvis moldrikt topplag eller på torvjord over steinfri mineraljord. Sandjorda vil bli mer tørkesterk, mens torvjorda blir mer kjørbar. Hvis sandjord ligger over leire kan jordblanding føre til betydelig mer tørkesterk jord.

Litteratur

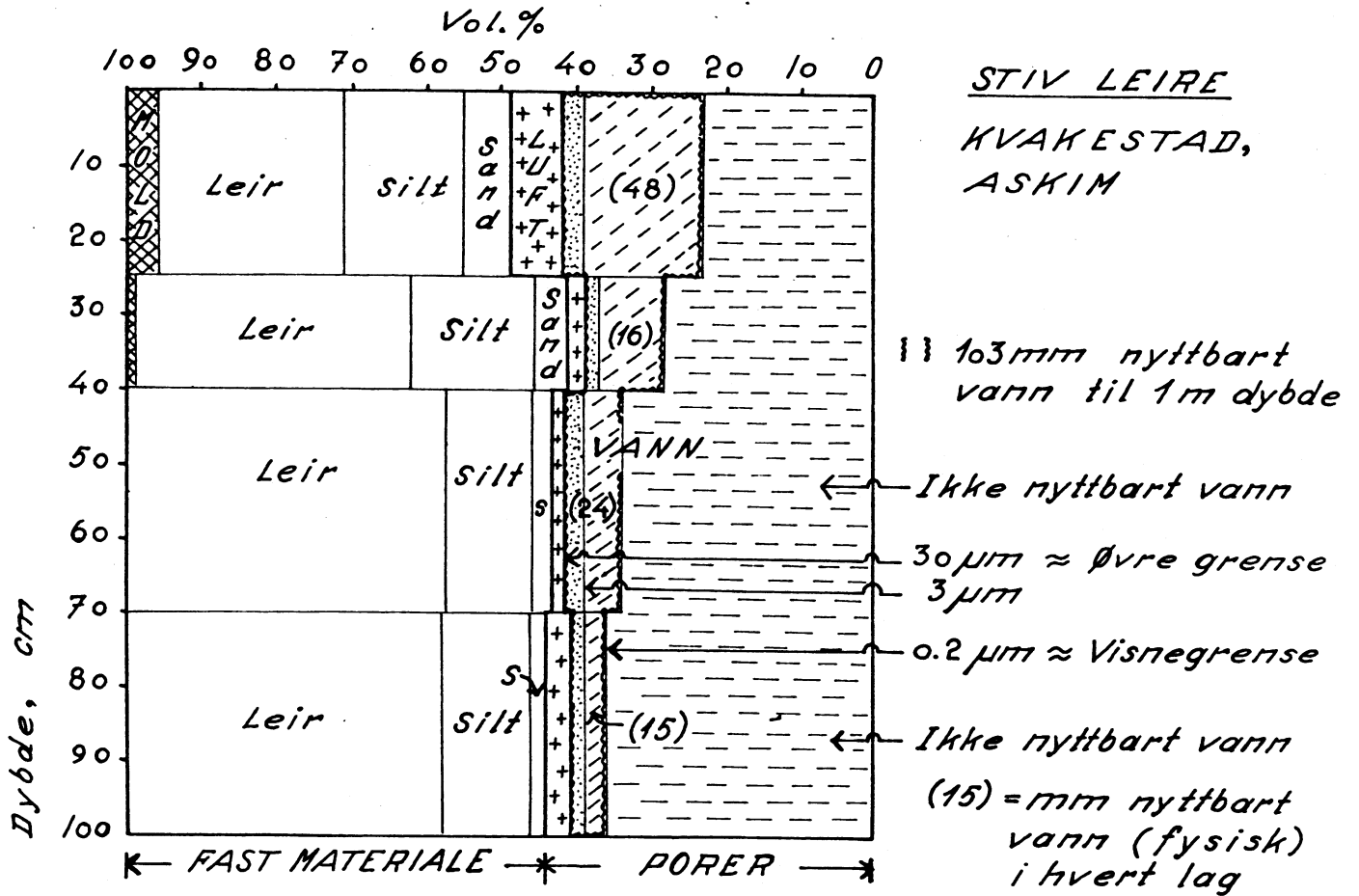
- Grøva, M. 1980. Djuparbeiding løser problemene på tett myr. Norsk Landbruk 11/1980;12-15.
- Hestetun, N. 1976. Vassleingsevne og fasthet. Jord og Myr 1, 54-62.
- Njøs, A. 1964. Pløying til stor dybde. En vurdering av pløyevirkningen ut fra kjemiske og fysiske jordanalyser. Ny Jord 2/1964, 47-57.
- Solberg, I. 1980. Praktiske erfaringer fra djuparbeiding av myr. Aktuelt fra Landbruksdepartementets opplysningstjeneste, 5/1980, 121-125.
- Aamodt, H. Pløying til stor dybde. Djuparbeiding av lagdelt jord i Sel i Gudbrandsdalen 1963. Ny Jord 2/1964, 36-46.
- Merknad: Jordartsnavn som er brukt i denne artikkelen er forklart i
- Njøs, A. og T.E. Sveistrup 1977. Kornstørrelsesgrupper i mineraljord. Forslag til klassifisering. Jord og Myr.

Figurtekster

Fig. 1. Volumforhold for fast materiale og porer i den øvre meteren av stiv leire i Askim. Denne jorda har antydning til plogsåle i 25-40 cm dybde. Mengden av ikke-nyttbart vann (vannrette streker) er ekstra stor i denne jorda. Mengden av fysisk nyttbart vann er 103 mm - av biologisk nyttbart vann, kanskje 3/4 av dette.

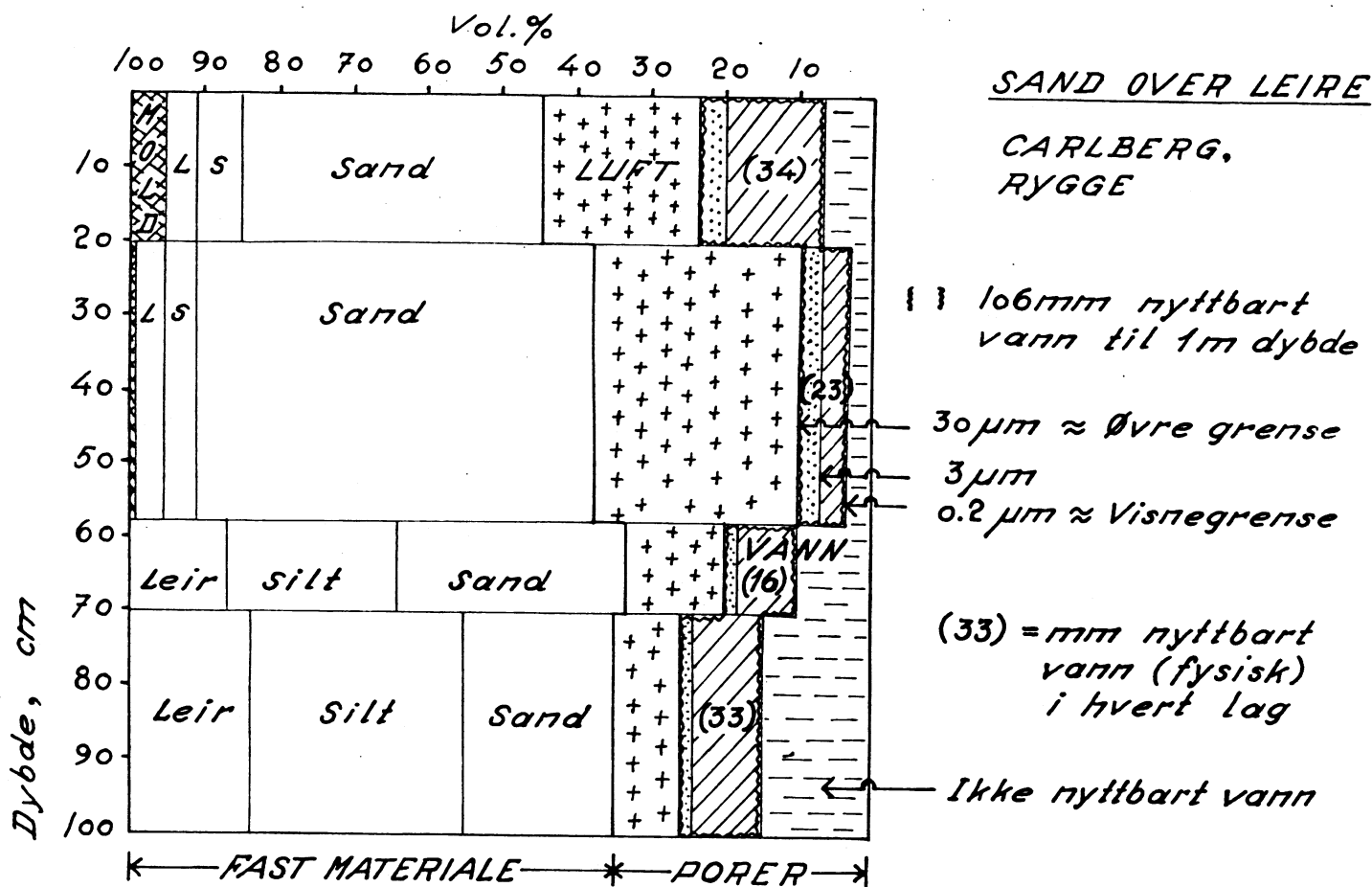
Fig. 2. Volumforhold for fast materiale og porer i den øvre meteren av grusholdig sand over leire i Rygge. Laget fra 23 cm til 58 cm dybde er et rotsperrelag på grunn av manglende finmateriale (mold, silt, leir). Den biologisk nyttbare vannmengden i dette profilet er ikke større enn ca. 40 mm, selv om den fysisk nyttbare vannmengden er 106 mm.

Fig. 3. Volumforhold for fast materiale og porer i moldrik og siltjord (oppdyrket torvjord) over leire. Legg merke til det lille volumet av drenerbare porer (luft) i 20-37 cm og 80-100 cm dybde, og det langt større volumet av drenerbare porer i 37-80 cm dybde. Det siste skyldes større sandinnhold.



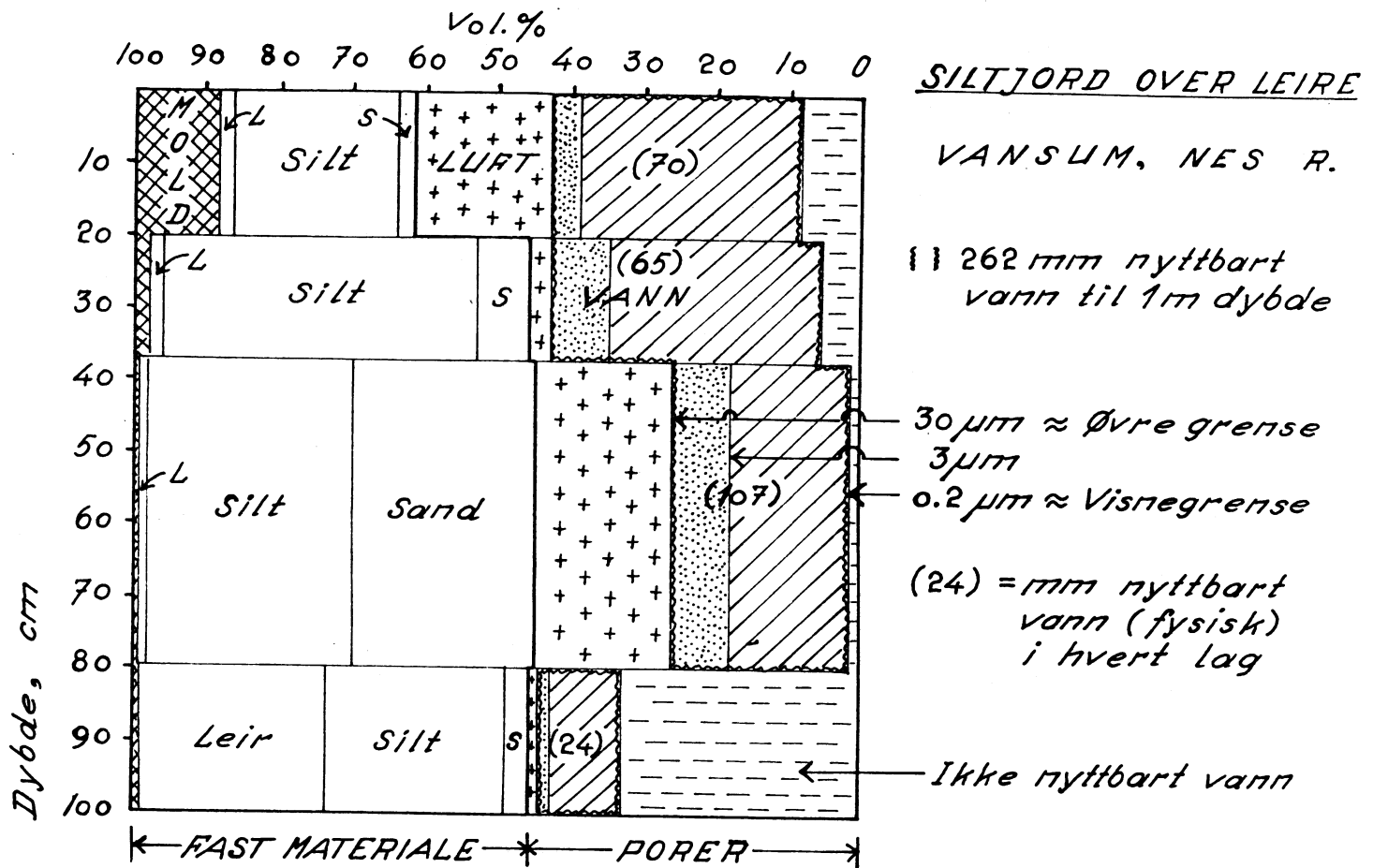
LUFT = Drenerbart porevolum

30 μ m = 0.030 mm, tilsvarende diameter av porer som tømtes ved 1m dreneringssug (dr. dybde)



LUFT = Drenerbart porevolum

30 μ m = 0.030 mm, tilsvarer diameter av porer som tømmes ved 1 m dreneringssug (dr. dybde)



LUFT = Drenerbart porevolum

30 μm = 0.030 mm, tilsvarer diameter av porer som tømmes ved 1m dreneringssug (dr. dybde)

JK 3. JORDFYSIKK
OG
JORDARBEIDING

VEDLEGG :

KURVER OG TABELLER

TIL FORDYBELSE

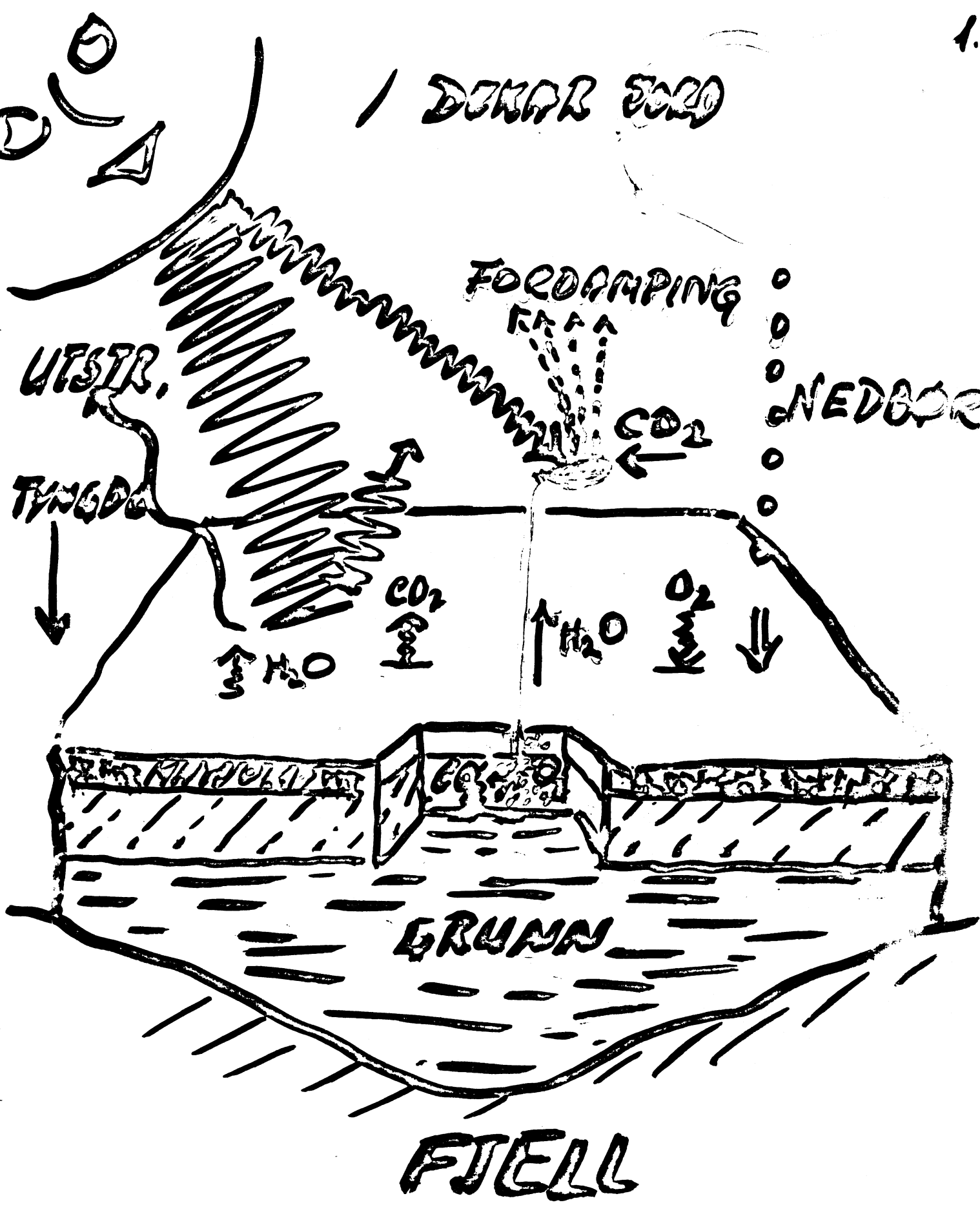
OG VEDERQUÆGELSE

AV

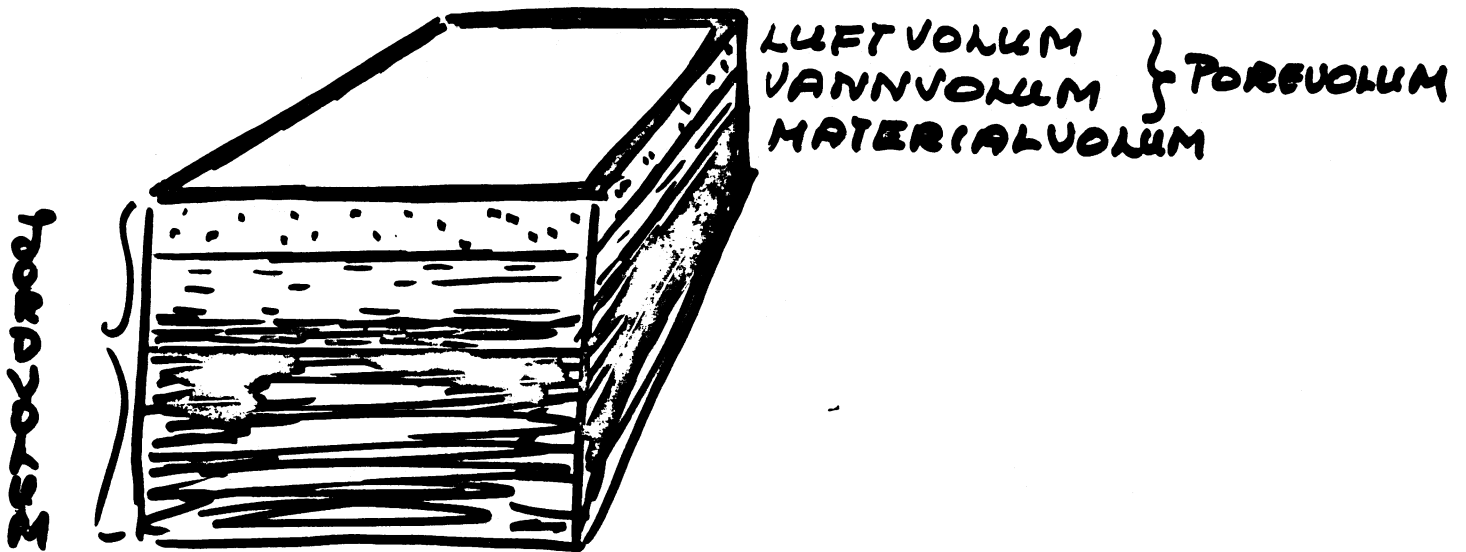
ARNOR NJØS

- høsten 1976 -
- og 1980 -

1 DEKAR FORD



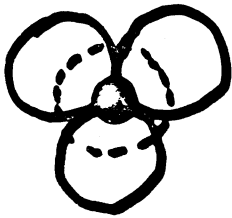
VOLUMFORHOLD I MINERALTJORD



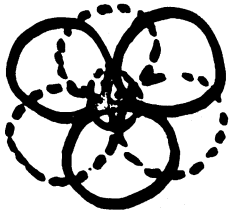
Jordtettethet : $\frac{\text{Vekt av fast material}}{\text{Jordvolum}} \text{ kg/dm}^3$
 (-densitet)

Volumprosent vann = mm pr 10 cm dybde

Byggesteiner i mineral materialet

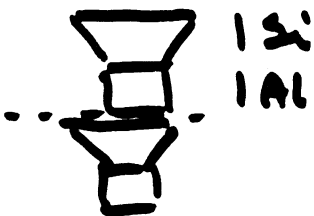


SiO₄ - tetraedret

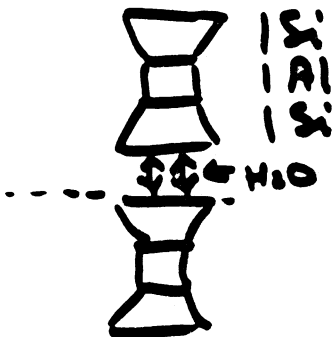


AlO₆ - oktaedret

Sjiktgittermineraler

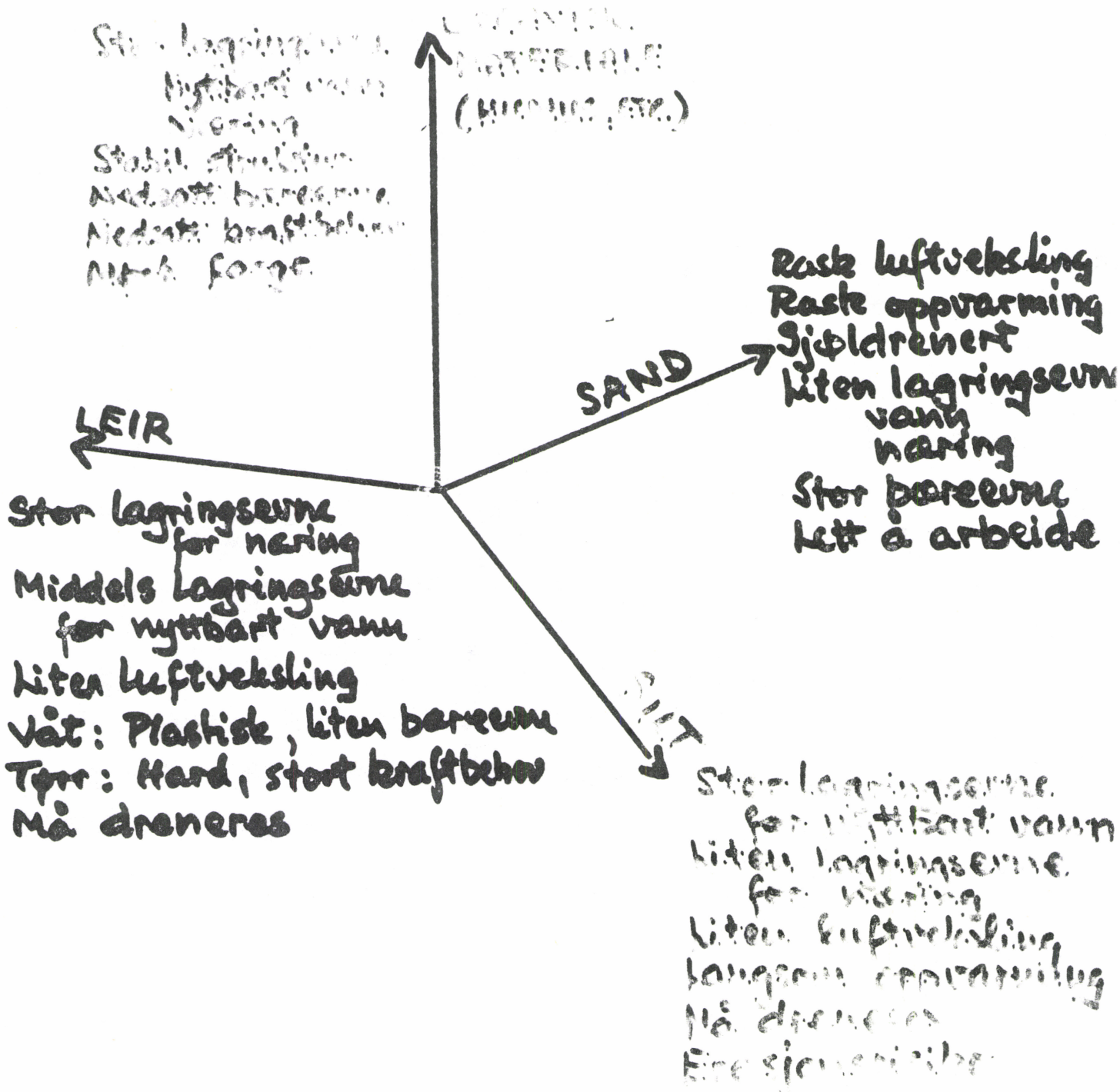


1 Si
1 Al
Kaolinit (1:1)



1 Si
1 Al
1 Si
H₂O
Smektitt (2:1)
ex.: Montmorillonitt

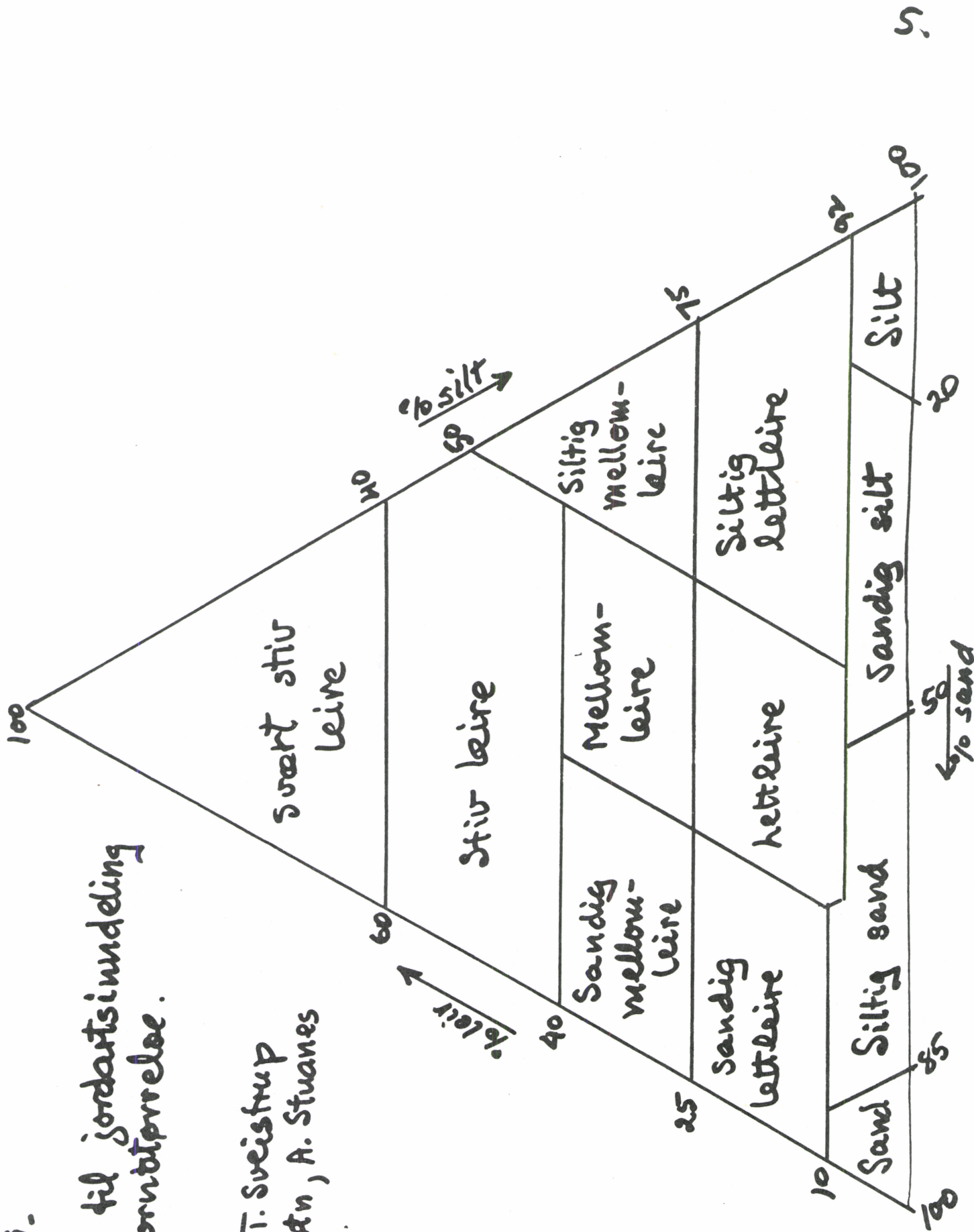
BRUKSEGENSKAPER FOR JORD MED VARIERENDE KORNSTØRRELSE OG HUMUSINNHold.

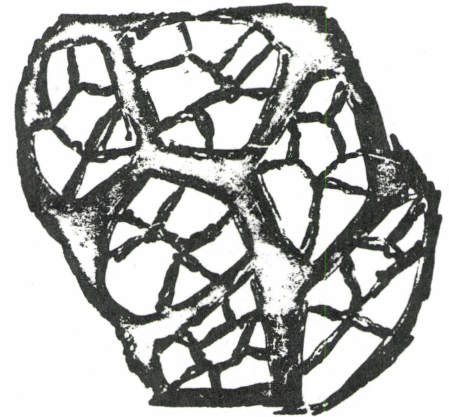
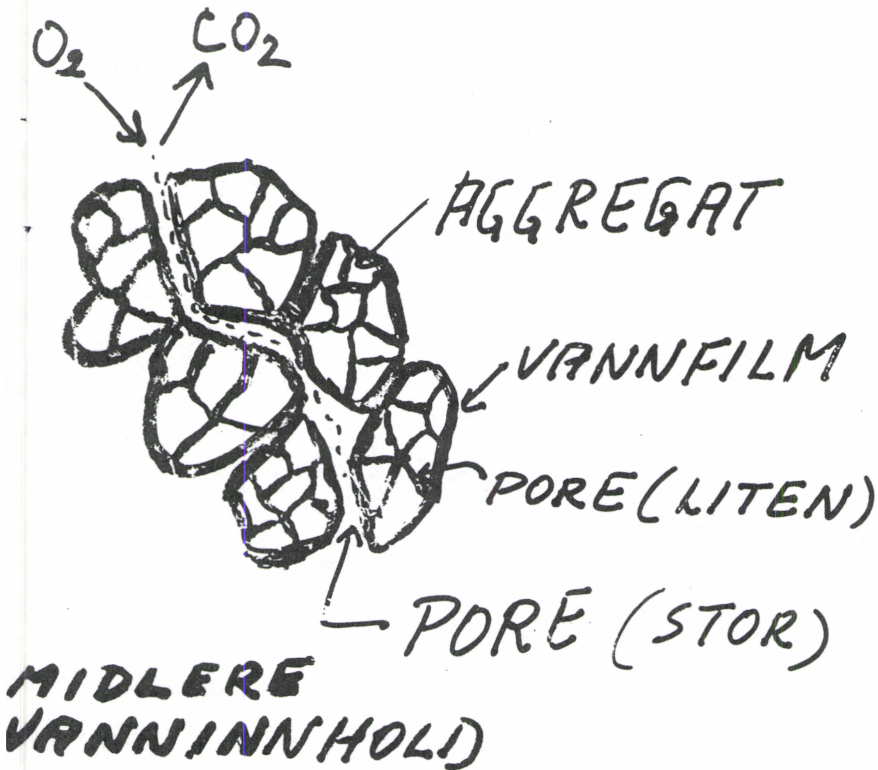


Figur 3.

Forslag til jordartsinndeling
etter korntørrelse.

Av
A. Njøs, T. Sveistrup
O. Haugbøtn, A. Stuanes



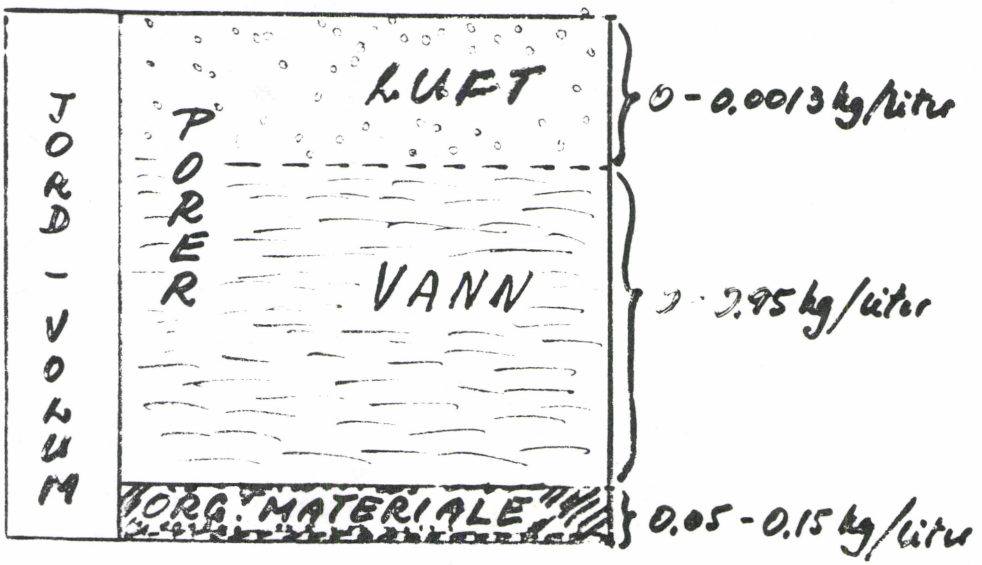
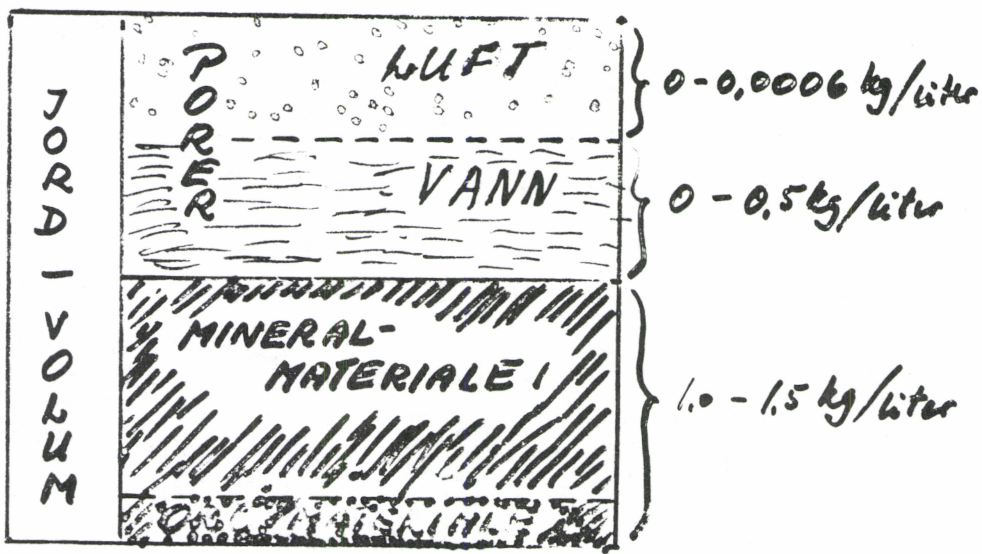


METTET
MED VANN

PORENE ER LAGERPLASS
FOR VANN OG LUFT, TRAN-
SPORTVEI FOR VANN OG LUFT
OPPHOLDSROM OG ARBEIDSROM
FOR LEVENDE ORGANISMER,
DERIBLANT RØTTER.

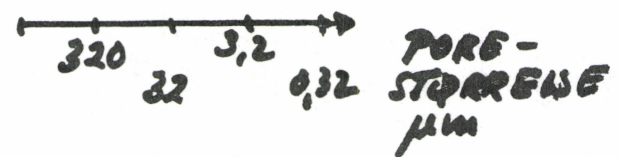
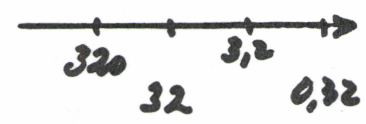
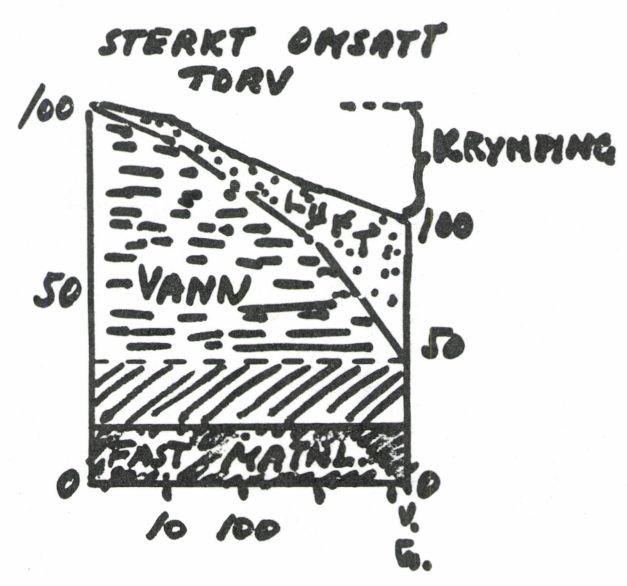
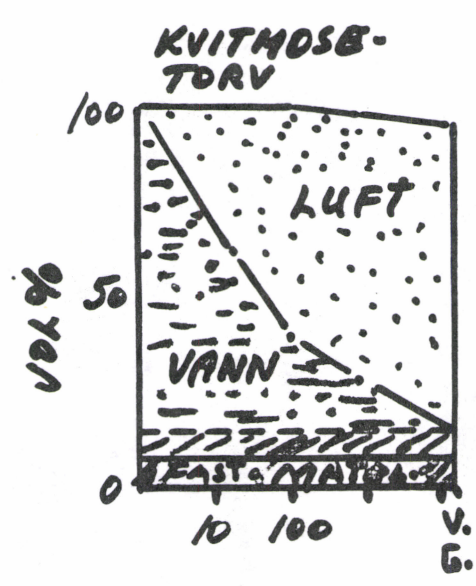
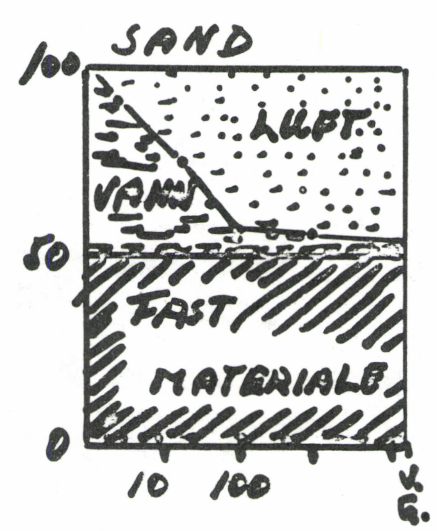
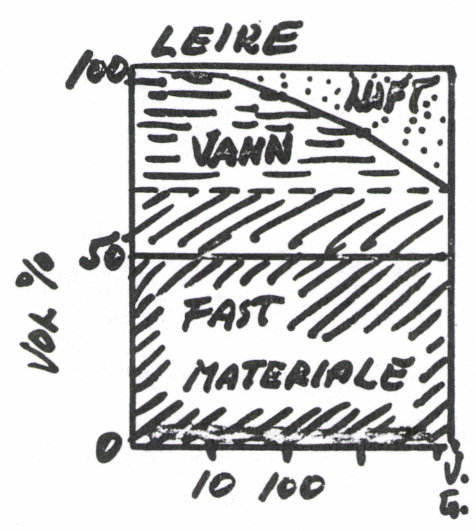
VOLUMFORHOLD :

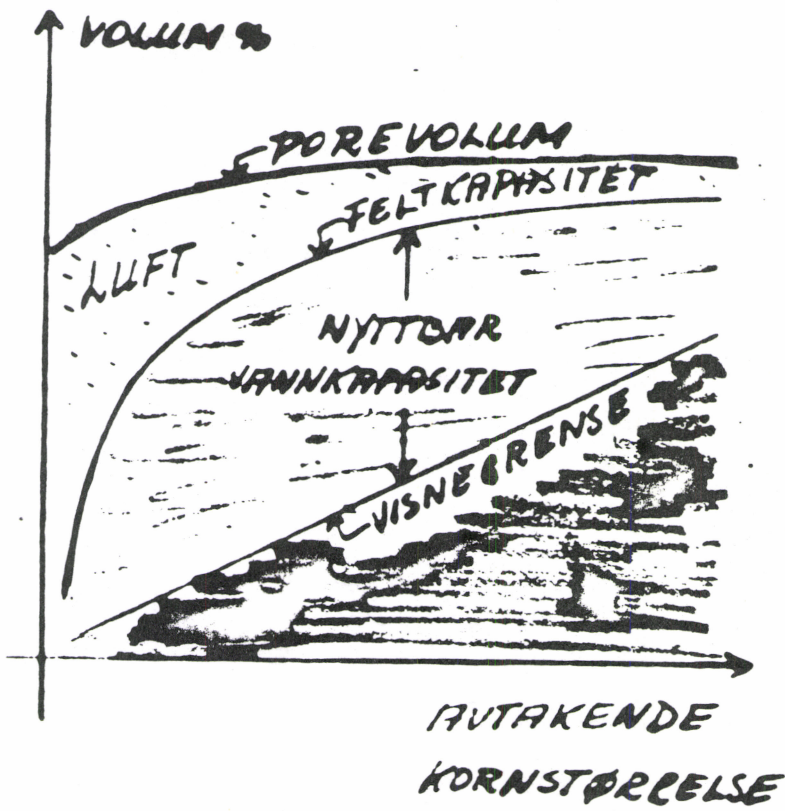
MINERALTJORD



TORVTJORD

TØMMING AV PØRESYSTEMET I FIRE JORDARTER





TAOELL 3. NYTTBAR VANNKAPASITET¹⁾
I FORHOLD TIL BLEDETAP OG KORN-
STØRRELSSESFORDELING.

STED	L. TAP	PROSENT			NYTTBAR VANNKAP. ²⁾
		LEIR	SILT	SAND	
MYSEN	0	0	4	96	3
SKJERBERG	1	0	6	94	9
— " —	1	7	56	37	29
VALER, S.	4	5	10	85	17
NES, B.	5	23	44	33	30
HULE	5	31	42	27	24
BERG	8	12	22	66	25
VÅLE, V.	8	11	67	22	37
ANDERHUV	7	34	44	22	26
FJÅLER	24	18	43	39	49
DEGERNES					26

¹⁾ Diff. (100 cm v. h. - 15500 cm v. h.) i løsel/10 cm
pF 2 - pF 4.2

LEIR < 0.002 mm

SILT 0.002 - 0.060 mm

SAND 0.06 - 2.0 mm

²⁾ KVITMOSE

- SAMMENHENG MELLOM ULIKE MÅL FOR VANNETS ENERGITILSTAND -

ÅRSZÅTALL	TRYK Bar	SUG cm H ₂ O	pF	RELATIV FUKT. %
-0.01	~0.001	1.0	0	100
-1	~0.01	10	1	
-10	-0.1	100	2	
-100	-1.0	1000	3	
-1000	-10.0	10000	4	98.9
-1520	-15	15500	4.2	
-10000	-100	100000	5	92.7
-100000	-1000	1000000	6	47.3
-1000000	-10000	10000000	7	5

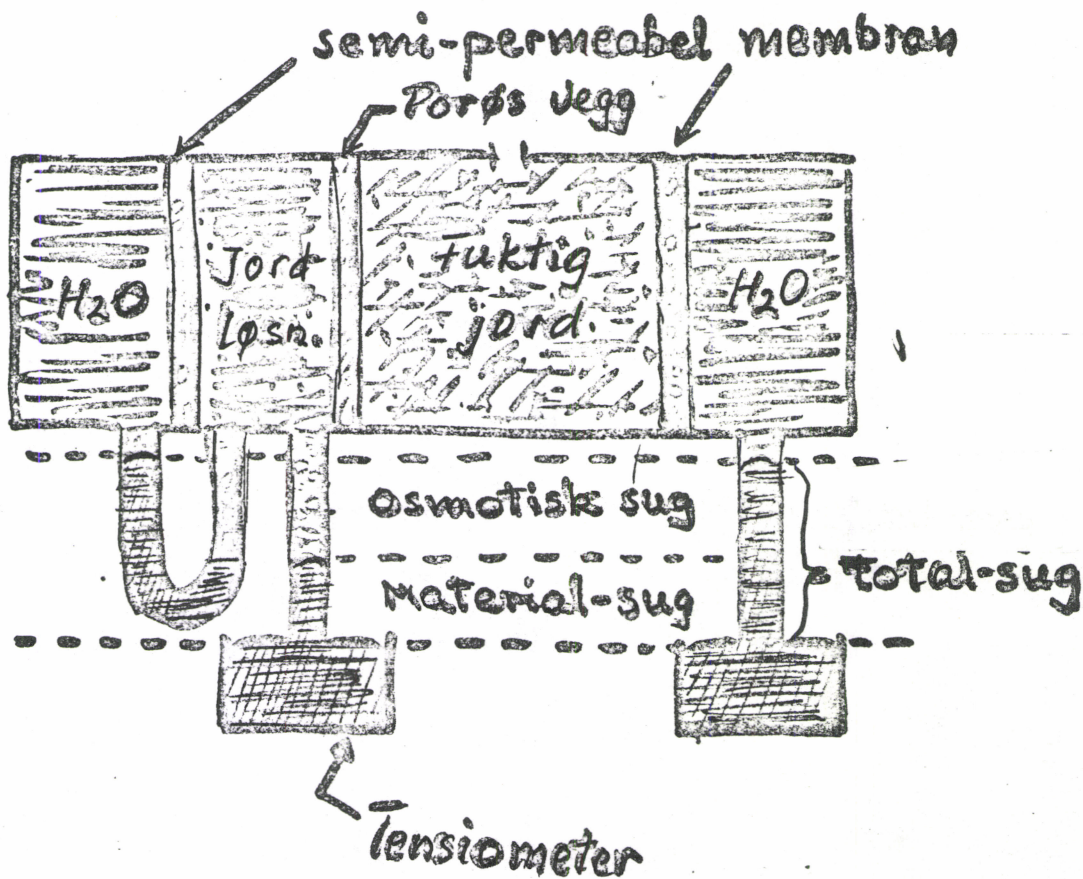
Potensial = $\frac{\text{Energi}}{\text{masse}}$, f.eks. $\frac{mgh}{m} = gh$ [L^2T^{-2}]

Trykk = $\frac{\text{Energi}}{\text{Volum}}$, f.eks. $\frac{P \Delta V}{\Delta V} = P$ [MLT^{-2}]

"Høyde" = $\frac{\text{Energi}}{\text{tyngde}}$, f.eks. $\frac{mgh}{mg} = h$ [L]

(Trykk $\frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{D Ahg}{A} = Dgh$)
 D = tetthet.

Total-sugets komponenter

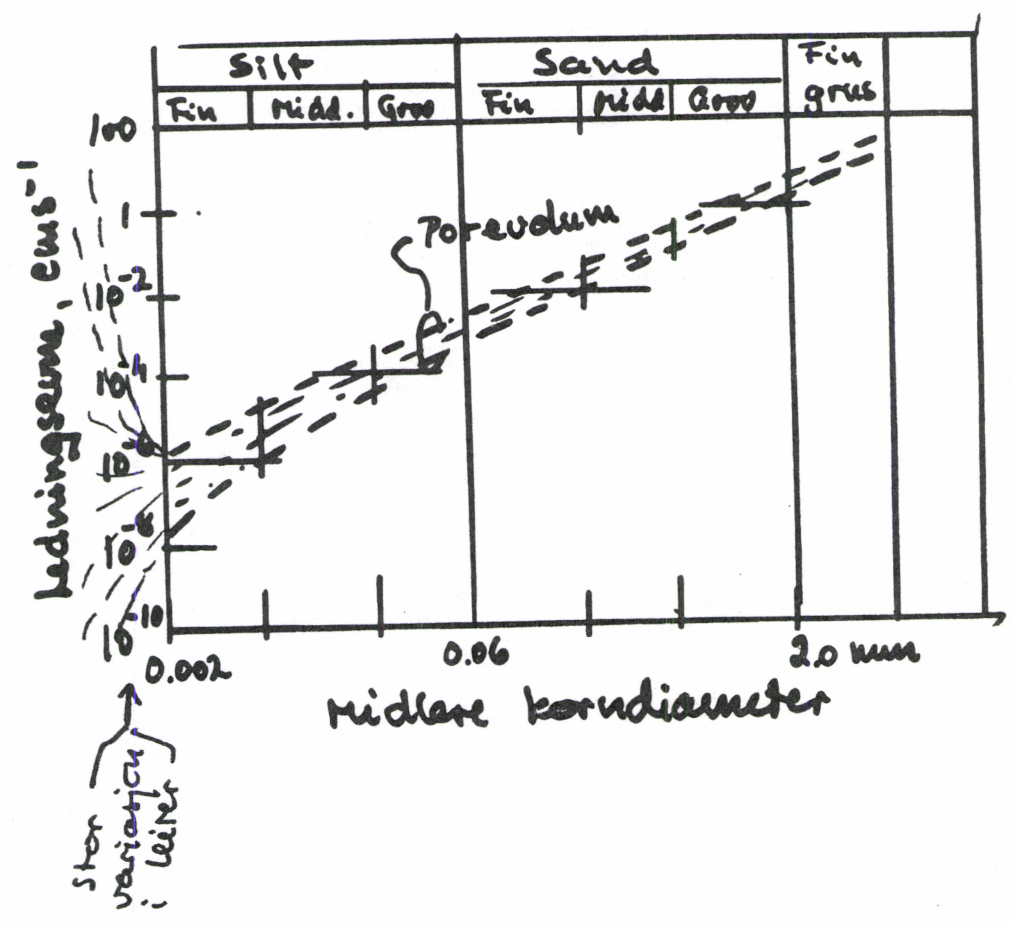


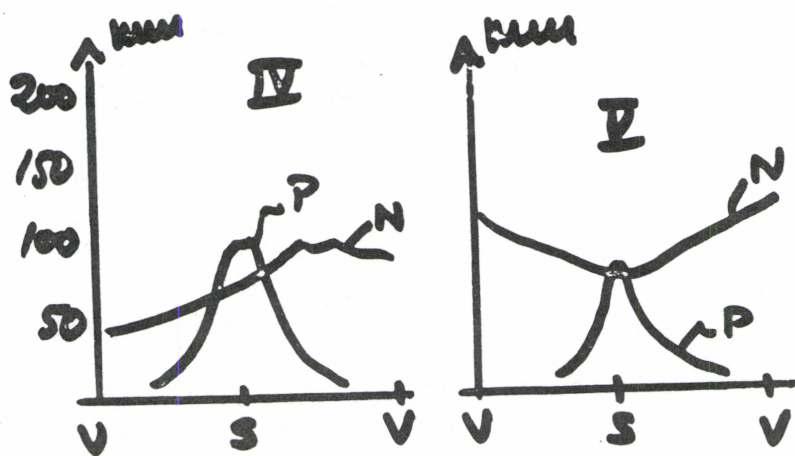
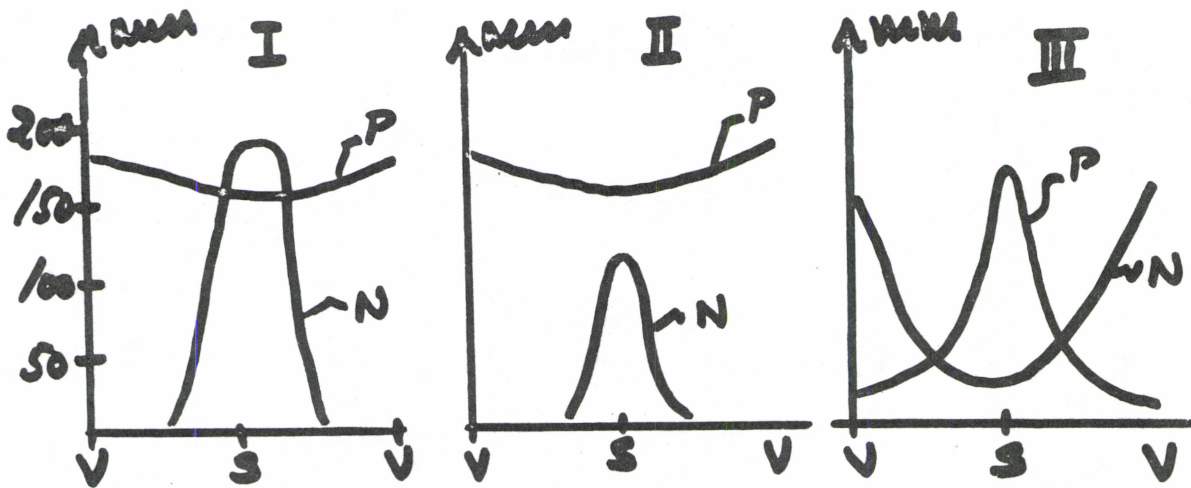
Den porøse vegg er gjennomtrengelig for salter og vann.

Den halv-gjennomtrengelige vegg (semi-permeable membranen) er gjennomtrengelig bare for vann.

Materialsug el. Matrix-sug el. Jordsug.

Sann ledningsevne
i forhold til korndiameter
2. Janbu 1970

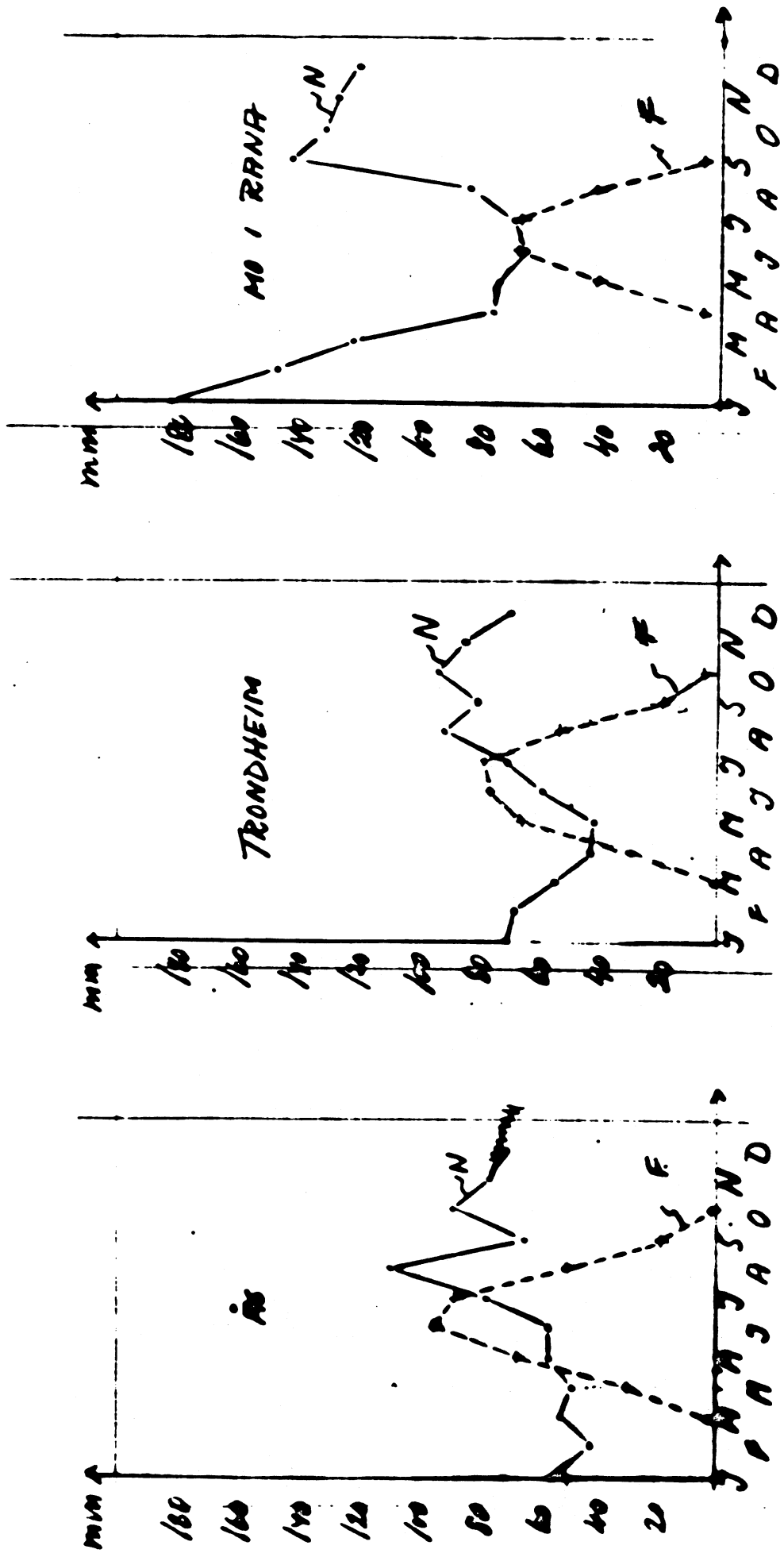




P = Potensiell fordampning
 N = Nedbør
 V = Vinter
 S = Sommer

SKJEMATISERT VANNDALANSE I ULIKE KLIMA

- I. Tropisk Varm, våt sommer - tør vinter
- II. Tropisk, Arid, sommerregn
- III. Temperert, våt vinter - tør sommer
- IV. Kjølig, Norge, Østlandet
- V. Kjølig, Norge, N-Norge-kysten.



MÅNED I ÅRET →

N = NEDBØR . F = POTENSIELL FORDAMPING

FIGUR 2. Skjematisk framstilling av nedbør(N) og potensiell fordampning(F) for Ås, Trondheim. Mo i Rana 1901-1930.

Energiforsyning og -bruk på
1 dekar jord i løpet av 1 dag.
Sommerdag (klarvær) Midt- eller S. Norge.

Innstråling $\sim 6000 \text{ kWh}$
 Effekt $\sim 250 \text{ kW}$

Til fordampning av 4 mm vann = 4 tonn

Fordampingsvarme $\sim 2500 \text{ kJ/kg}$
 $\sim 700 \text{ kWh/tonn}$

Fordampning 4 mm $\sim 2800 \text{ kWh}$
 eller ca. $\frac{1}{2}$ energi inn.

Rest til refleksjon, oppvarming av jord og luft, og fotosyntese.

Ek.: 1% av inngående energi til fotosyntese
 $= 60 \text{ kWh}$

1 kg tørrstoff i karbohydrat = 4.7 kWh

Kg tørrstoff pr. dag: $\frac{60 \text{ kWh}}{4.7 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} = \underline{\underline{12.8 \text{ kg}}}$

Vårt energiforbruk: 3.4 kWh/dag
 effektforbruk: 140W (stor lyspære)

Må vi ha regn for at telen skal gå om våren ?? 17.

Smeltevarme is = 336 kJ/kg (80 kcal/kg)

Jord med 1m tele - 40 vol% vann

Netto innstråling $1.9 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{dag)} = 6.7 \text{ MJ/(m}^2 \cdot \text{dag)}$

40 vol% = $400 \text{ kg vann} = 400 \text{ kg is/m}^3 \text{ jord}$

Førløst temperatur 0°C under smeltingen.

Total energi til oppthining $336 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 400 \text{ kg} = \underline{134.4 \text{ MJ}}$

Antall dager for oppthining $\frac{134.4 \text{ MJ}}{6.7 \frac{\text{MJ}}{\text{dag}}} = \underline{\underline{\text{ca. 20 dager}}}$

Oppthining av samme tele med regn:

1mm nedbør = 1 kg/m^2

Førløst: vanntemperatur i nedbør 8°C

avkjøling fra $8^\circ\text{C} \rightarrow 0^\circ\text{C}$

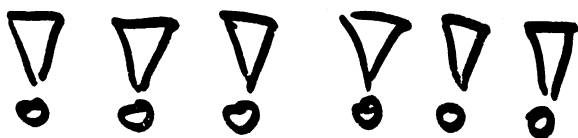
Varmemengde pr mm. : $4.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{grad}} \cdot 8 \text{ grad} = 33.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$= 33.6 \text{ kJ/mm}$

Nedbørsmengde for oppthining:

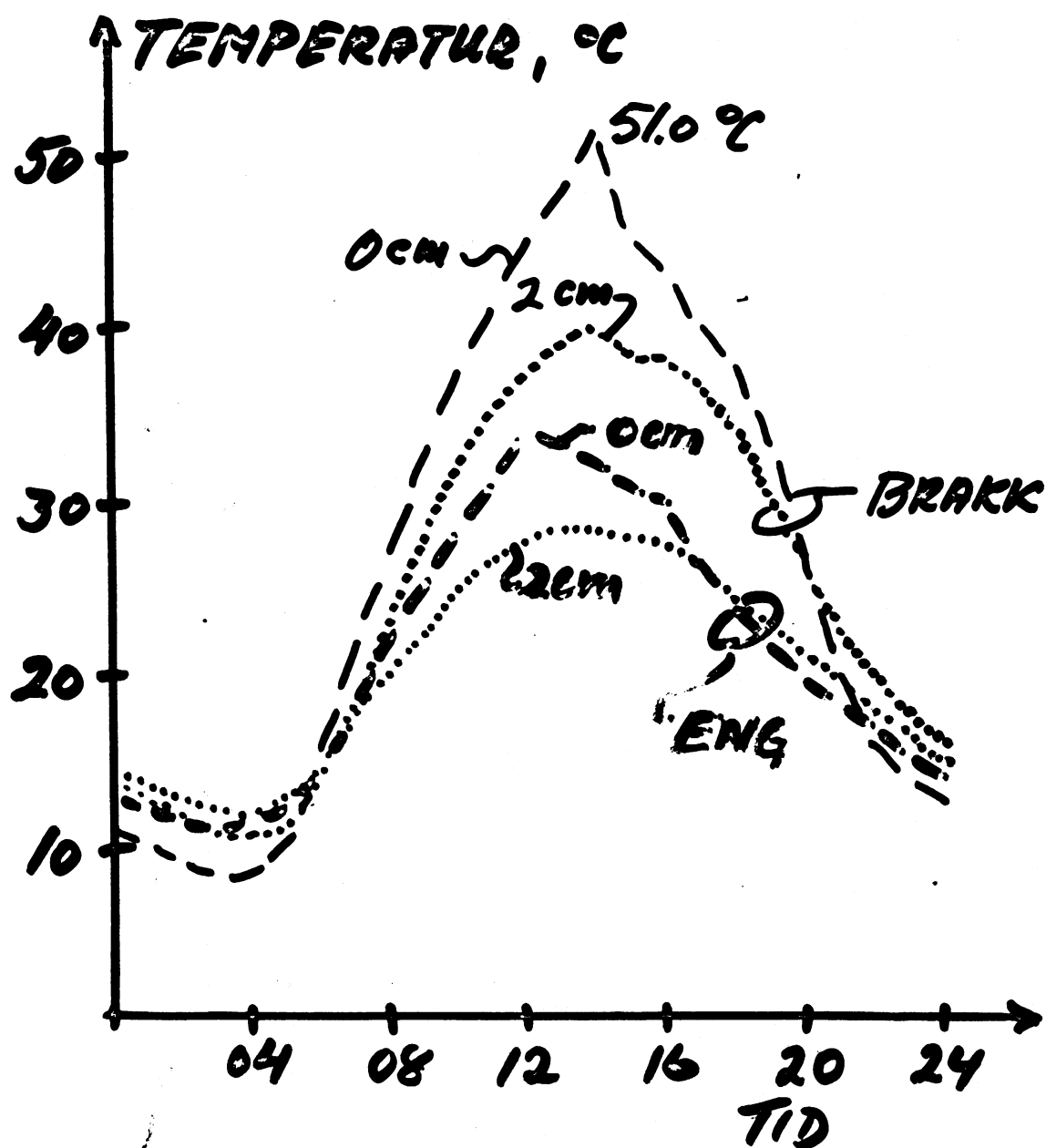
$134.4 \text{ MJ} : 33.6 \text{ kJ/mm} =$

$134400 \text{ kJ} : 33.6 \text{ kJ/mm} = \underline{\underline{\text{ca. 4000 mm}}}$



TEMPERATUR VED
OVERFLATEN OG I 2cm DYBDE
I ENG OG PÅ BRAKK.

Ås, NORGE, 3. juli, 1971

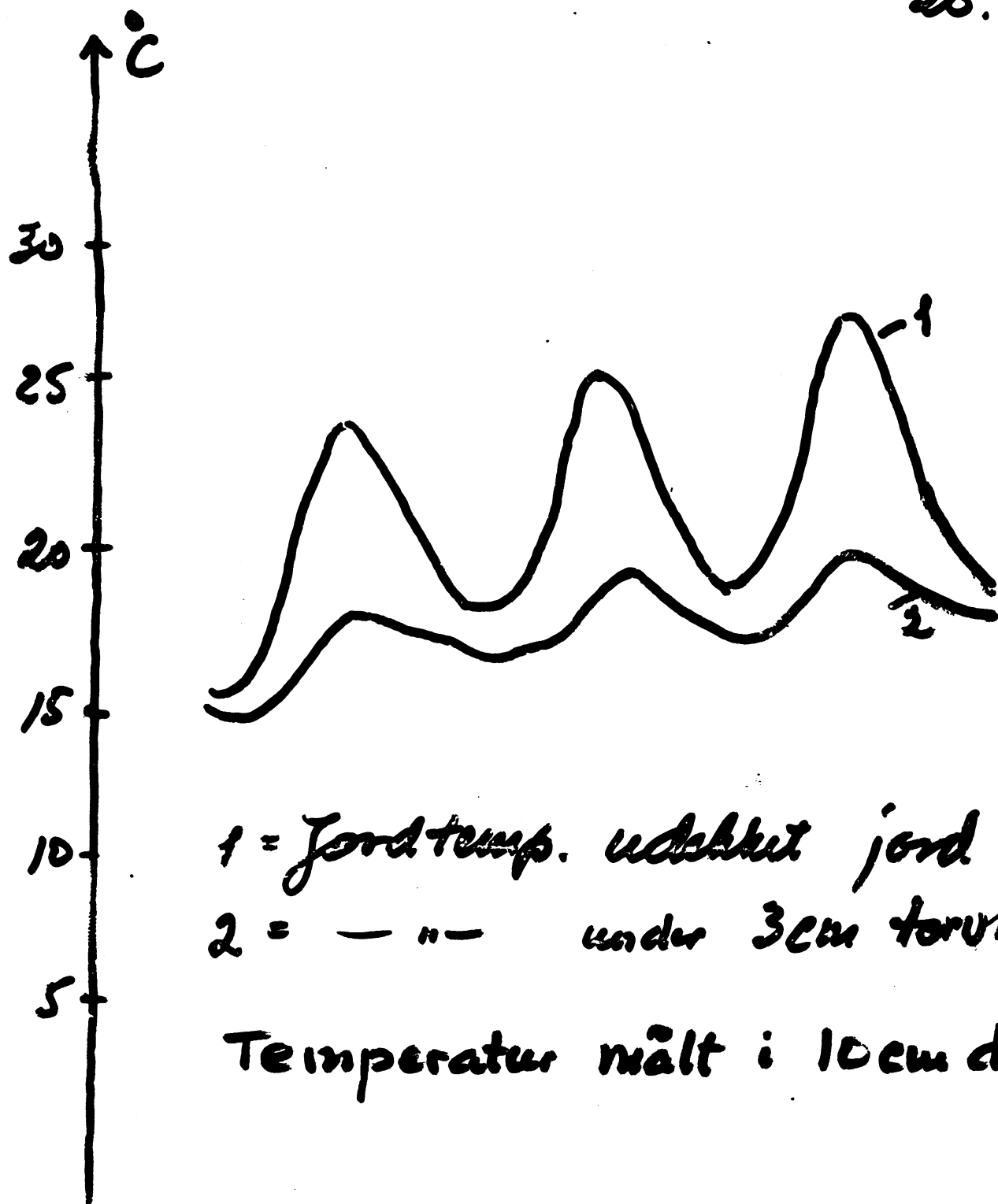


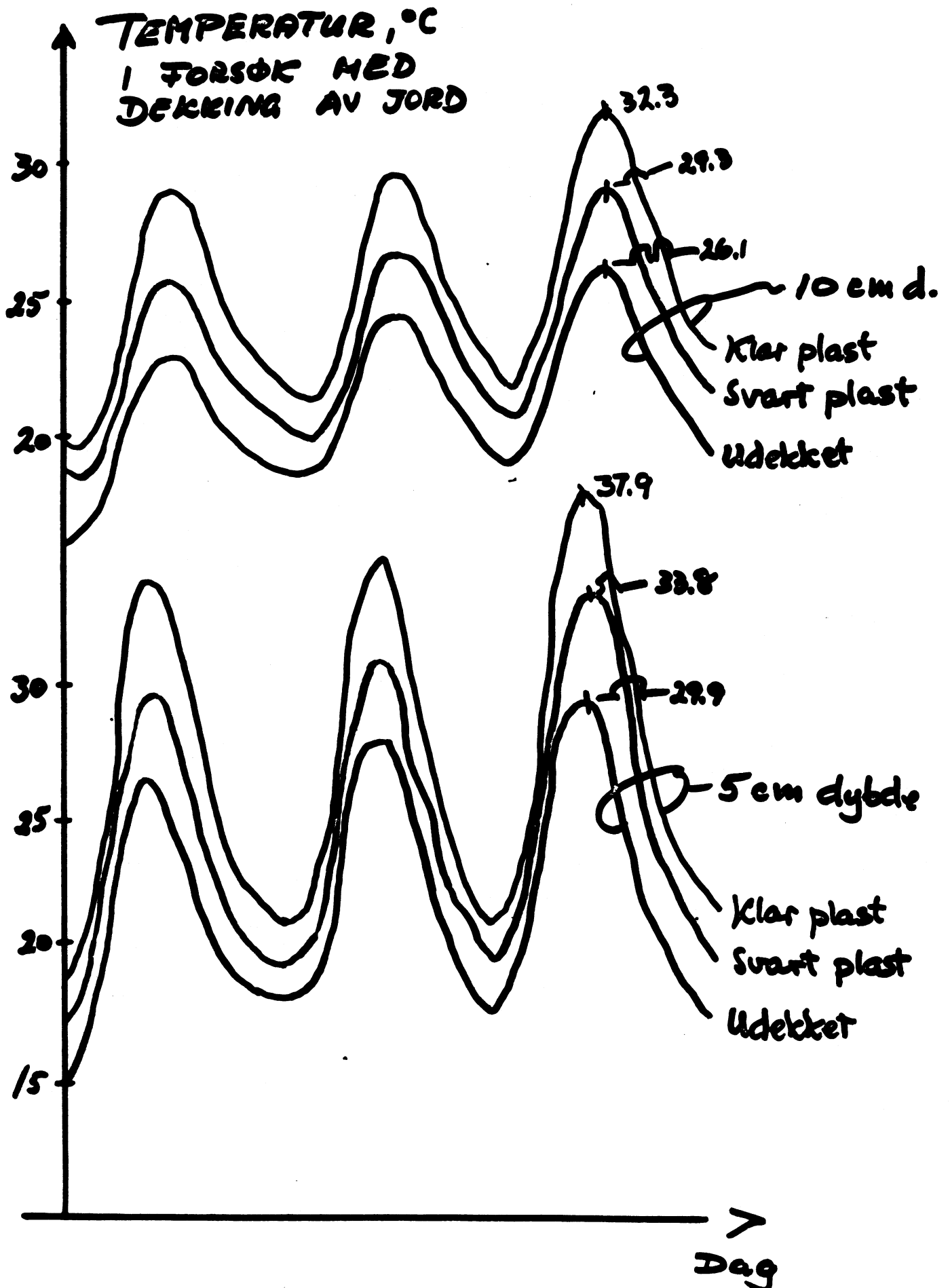
19.

TABELL 3. JORDTEMPERATUR, °C, OG KLOKESLETT FOR MAKSIMUM OG MINIMUM I LEIRJORD MED 3 CM TOPPDEKKE AV ULIKE AGGREGATSTØRRELSER. PERIODE 28/6-3/7, 1968 (KLARVÆR)

AGGREGAT- STØRRELSE	DYBDE	JORDTEMPERATUR, °C			KLOKESLETT	
		MIDDEL	MAX	MIN	MAX	MIN
< 0,6 mm	5 cm	19,6	25,6	14,6	15,00	04,50
6- 0,6 "	"	20,9	27,3	15,5	14,50	05,00
20-6 "	"	19,9	25,8	14,9	14,50	05,20
< 0,6 "	10 cm	18,9	21,9	15,9	17,40	06,20
6- 0,6 "	"	19,6	22,7	16,7	17,50	06,40
20-6 "	"	19,1	22,3	16,1	17,20	06,40
F (AGGREGATSTØRRELSE)		17,0 ^x	28,8 ^x	25,5 ^x	0,4	1,1
F (DYBDE)		203,3 ^x	1129,6 ^x	119,7 ^x	554,0 ^x	177,1 ^x
F (SAMSPILL)		0,1	0,9	1,2	0,7	0,3

MAX OG MIN ER MIDLERE MAKSIMUM OG MINIMUM I PERIODEN.





ÅRSAKER TIL

KLUMPSTRUKTUR GRYNSTRUKTUR

LITE HOLDINNINNHOLD STORT HOLDINNINNHOLD

JORDBEID / REGNVAER

SMULDRING

ENSIDIG ÅKERBEIAR

ENG

STERK NEDBØR, FUGT

MODERAT VEKSLING

AV STERK UTÞRUKING

MELLOM FUKTING -

ÞRUKING, FRYSING -

OPPTNING

LITE KALKINNINNHOLD

STORT KALKINNINNHOLD

SVAK GJØDSELING

STERK GJØDSELING

VIRKNING PÅ JORDSTRUKTUR AV KALK

DIREKTE

UTPELLING

MØRTEL-VIRKNING

(BINDING MINERAL

- KALSIMUM - NYLSTOFFE)

BRENT OG LESKET

KALK I STORE

MENGDER

INDIREKTE

GUNSTIG ROT-MILJØ

GUNSTIG MILJØ FOR

BAKTERIER, SMÅDYR



FINDELING - OMDANNING
AV PLANTERESTER

BLANDING AV JORD

" LIMSTOFFER "

ALLE KALKMIDLER

DANNELSE AV AGGREGATER

LEIR-PARTIKKEL



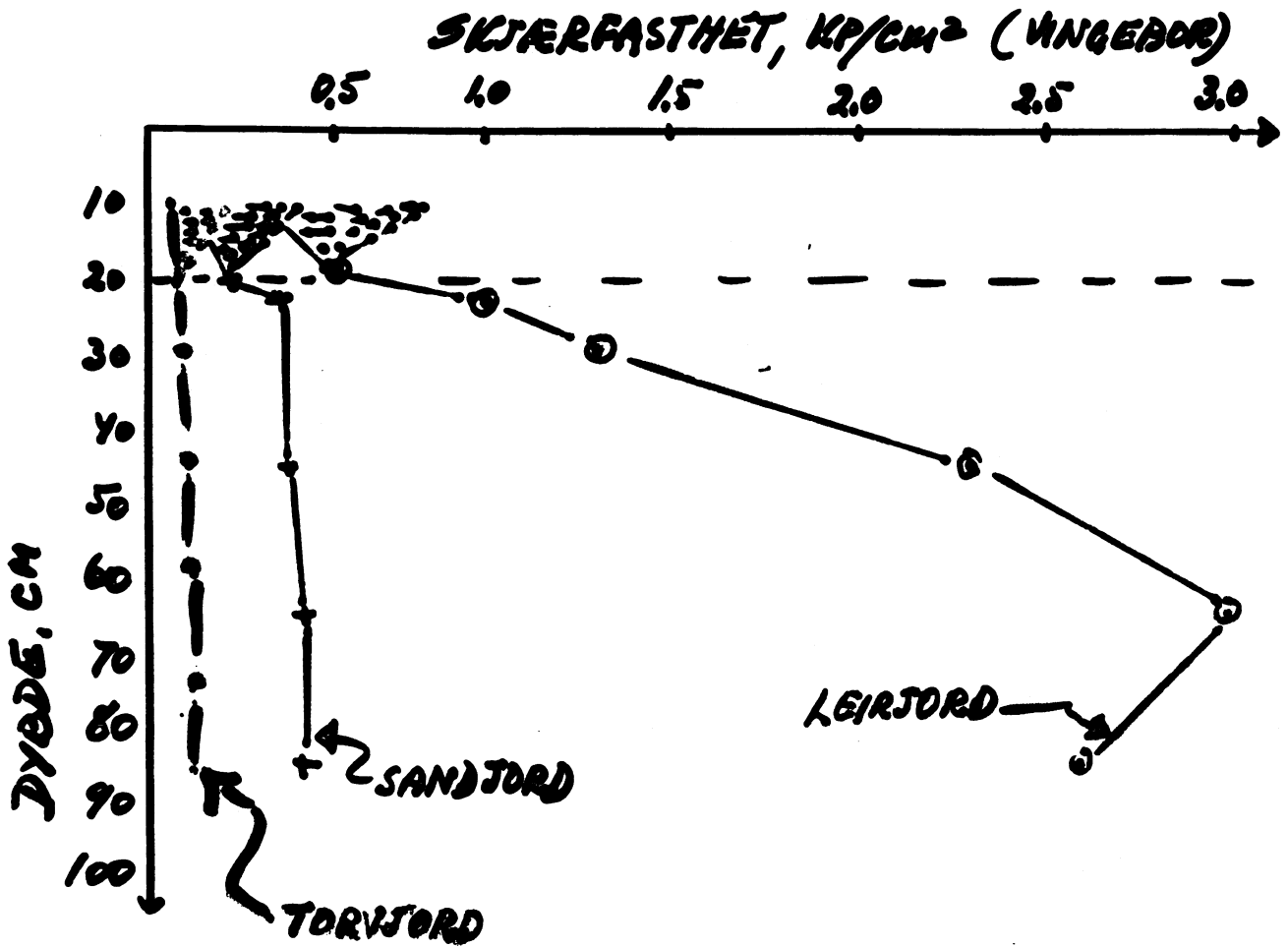
LÅGT NIVÅ AV:

MOLD, KALT

HØGT NIVÅ AV:

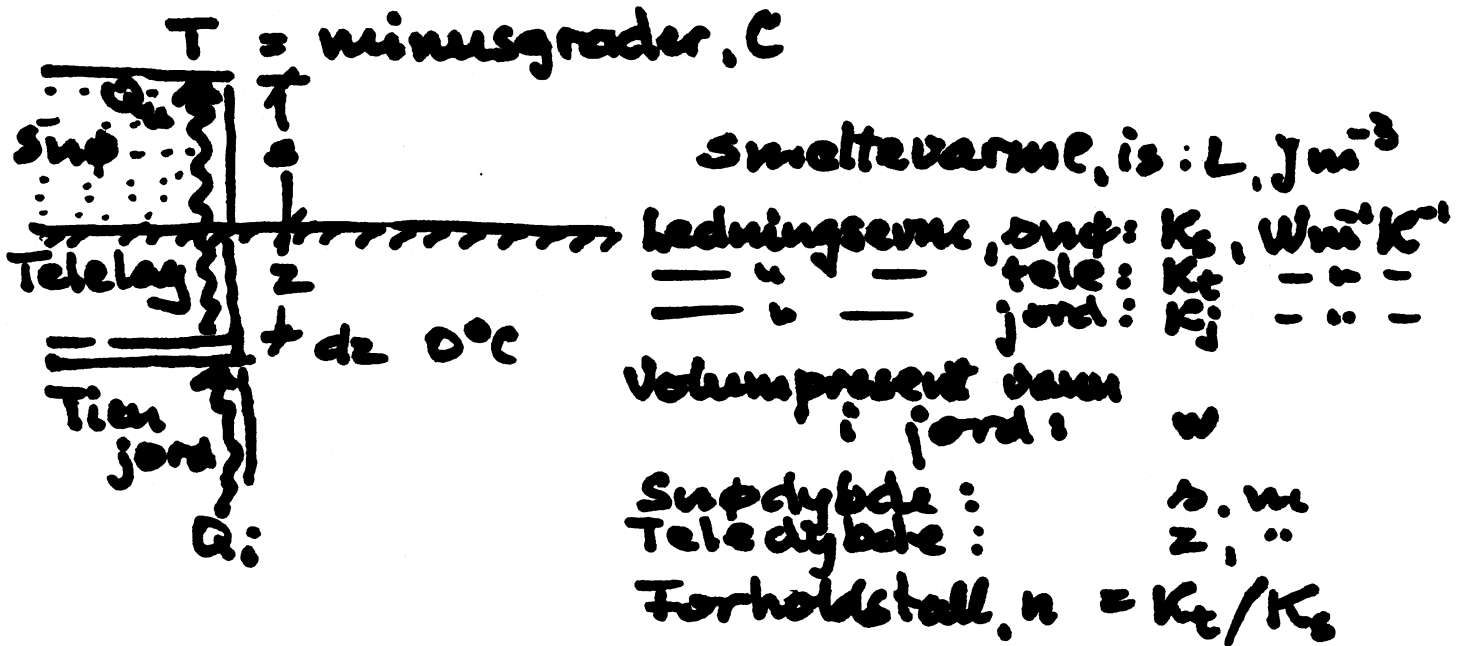
MULD, KALT

FASTHET I TRE JORDARTER.



Utleiding av formel for telehastighet

E. ANDERSSON, 1964



Vi forutsetter:

Stasjonær strømning

$$Q = K \frac{dT}{dz} A dt$$

3: Fourier's 1. lov

$$Q = \text{varmestrukt, } J \cdot s^{-1} \quad (1)$$

A = tverrsnittsområde, m^2

t = tid, s

T = temperatur, K, el. C

Volum av lag som fryser i tid dt: $A dz$

Frigjort smeltevarme i tid dt: $\Delta Q = L A dz \cdot \frac{w}{100} \quad (2)$

Varme ut i tid dt $Q_u = K_t \left(\frac{T}{z + n_s} \right) A dt \quad (3)$

$z + n_s =$ effektiv teledybde

Varme inn i tid dt $Q_i = K_j a A dt \quad (4)$

a er temp.gradient i tinn jord

Vi setter

$$K_j = K_t \quad (5)$$

$$\Delta Q = Q_u - Q_i$$

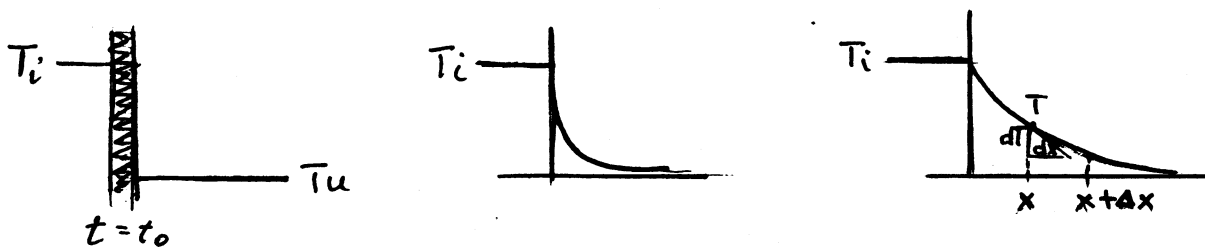
$$L A dz \frac{w}{100} = K_t \left(\frac{T}{z + n_s} \right) A dt - K_t a A dt \quad (6)$$

$$v = \frac{dz}{dt} = \frac{100 \cdot K_t}{L \cdot w} \left[\frac{T}{z + n_s} - a \right] \quad (7)$$

v = telehastighet

$$L = 336 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$$

Utleddning av oppvarmings- (avkjølings) funksjonen, FOURIER'S 2. LOV



Variable: Tid: t , s
 Ledningsevne: K , $W m^{-1} K^{-1}$
 Temperatur: T , K
 Tverrsnittareal: A , m^2
 Avstand: x , m
 Varmekapasitet på volumbasis C , $J m^{-3}$

Temp. ved x : T
 Temp. ved $x + \Delta x$: $T + \frac{dT}{dx} \Delta x$
 Q = varmeenergi, J

lagerendring ved oppvarming $\frac{dQ}{dt} = C \cdot A \cdot \Delta x \cdot \frac{dT}{dt}$

lagerendring ved forskjell mellom inn- og utstrømming:

$$\text{Varme inn: } \left(\frac{dQ}{dt}\right)_x = KA \left(\frac{dT}{dx}\right)_x$$

$$\begin{aligned} \text{Varme ut} \quad \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{x+\Delta x} &= KA \frac{d}{dx} \left(T + \frac{dT}{dx} \Delta x\right)_{x+\Delta x} \\ &= KA \left[\frac{dT}{dx} + \frac{d^2T}{dx^2} \Delta x\right] \end{aligned}$$

$$\text{Varme ut - Varme inn: } \frac{dQ}{dt} = KA \left[\frac{dT}{dx} + \frac{d^2T}{dx^2} \Delta x - \frac{dT}{dx}\right]$$

$$\frac{dQ}{dt} = KA \frac{d^2T}{dx^2} \Delta x = KA \Delta x \frac{d^2T}{dx^2}$$

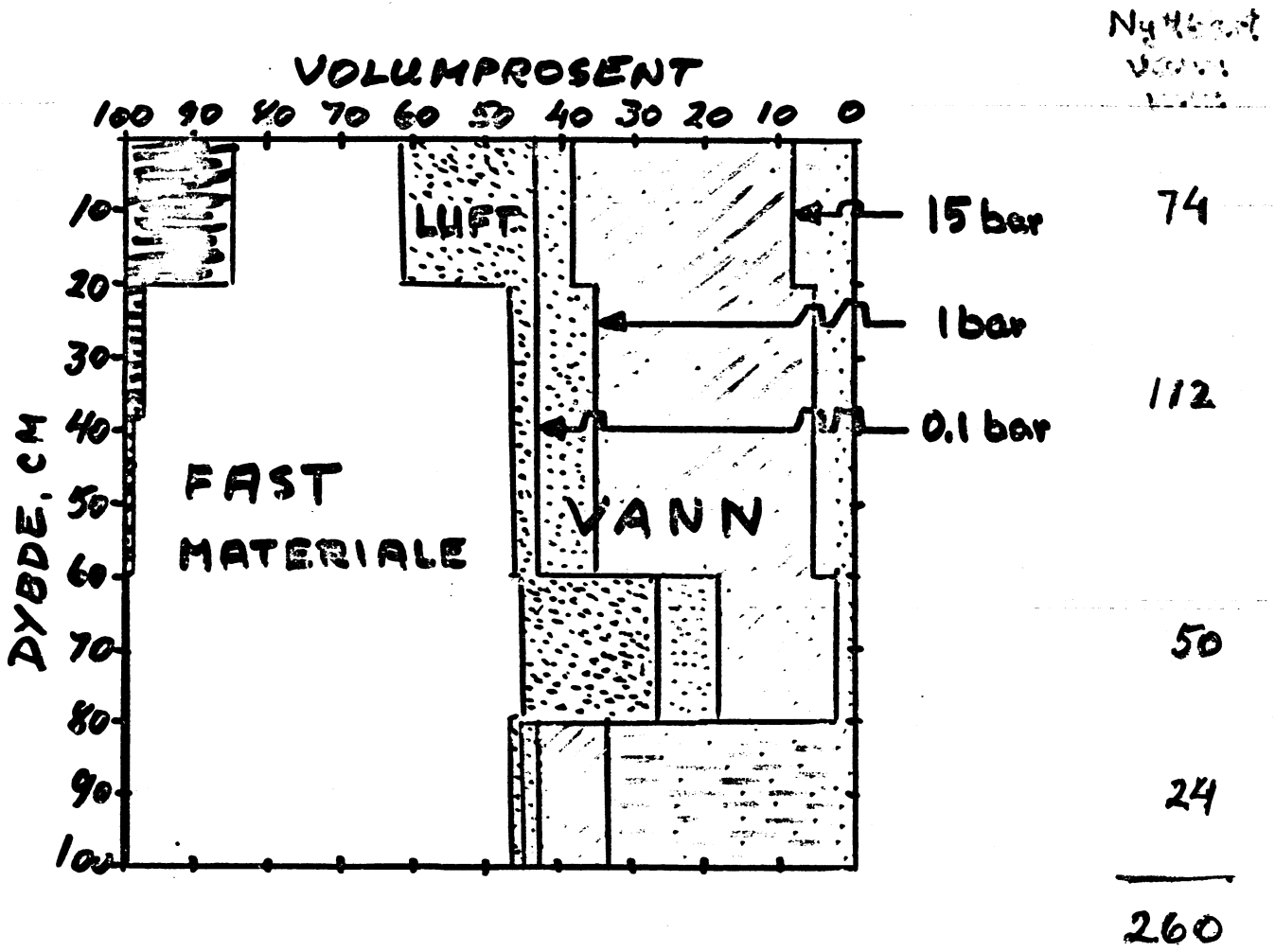
lagerendring ved temperatur-
endring = lagerendring (Varme ut - varme inn)

$$CA \Delta x \frac{dT}{dt} = KA \Delta x \frac{d^2T}{dx^2}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{K}{C} \frac{d^2T}{dx^2} \quad \text{Fourier's 2. lov}$$

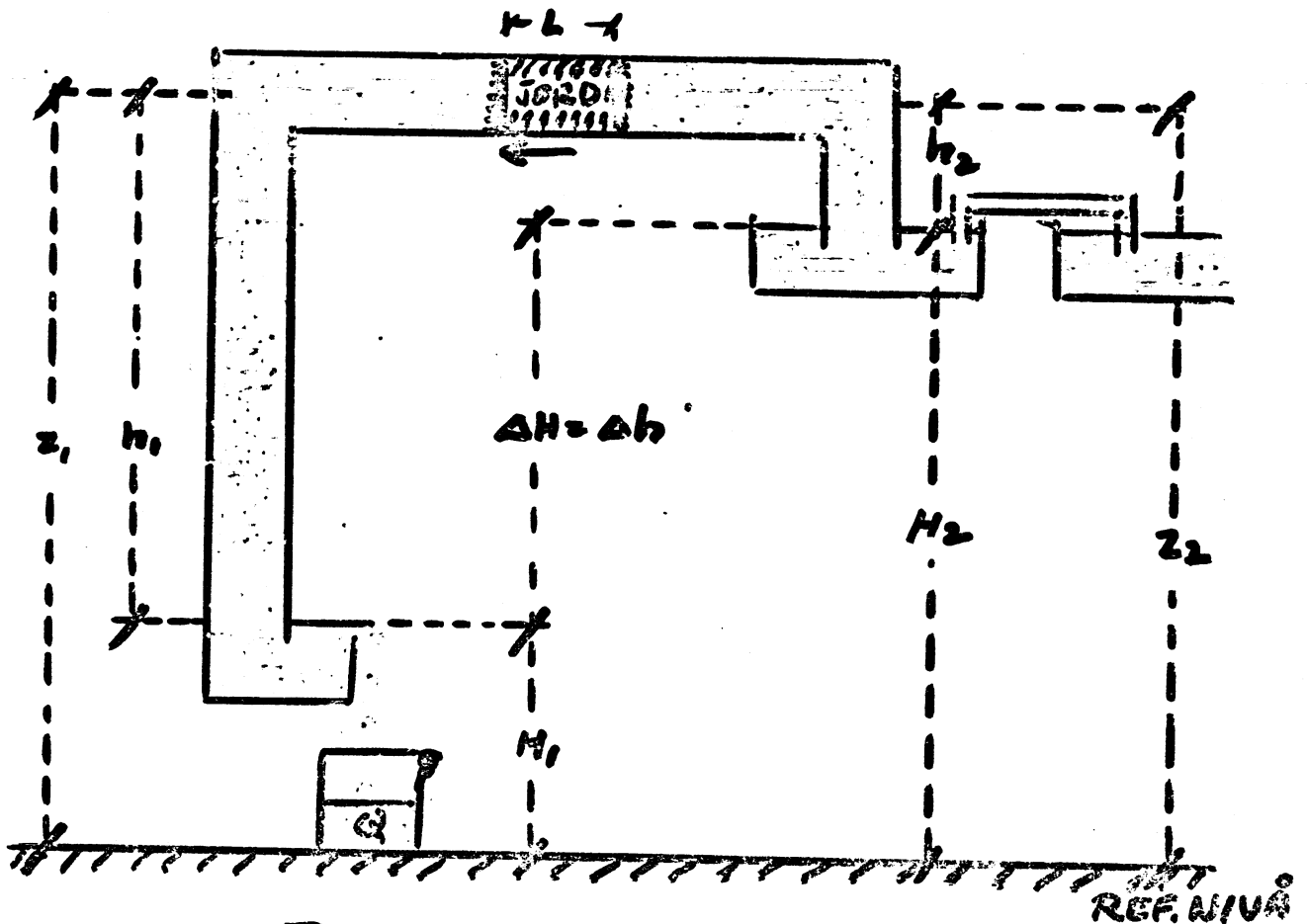
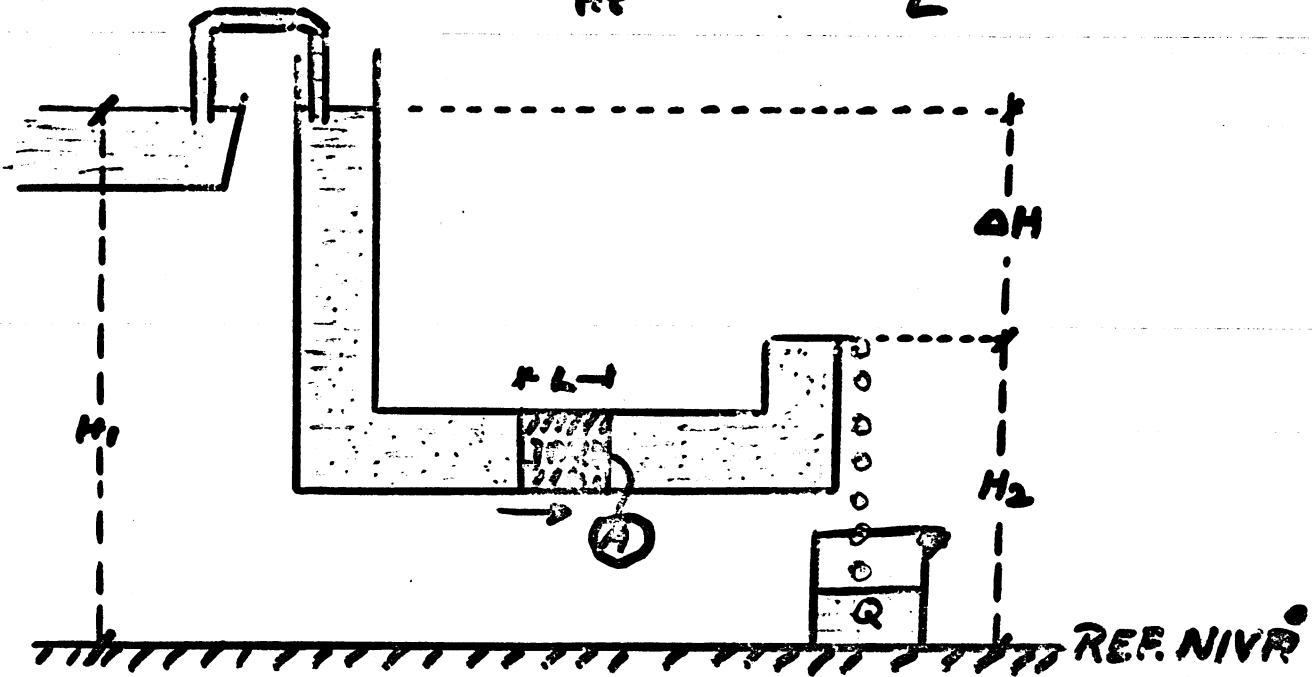
$$\begin{aligned} \frac{K}{C} &= D_T = \text{Varmens diffusivitet} \\ &= \text{"Temperaturledningspotensial"} \\ & \quad m^2 s^{-1} \end{aligned}$$

VOLUMDIAGRAM FOR MOLDRIK SILTJORD
(MTELE) OVER LEIRE NES, FIKERSHUS



I. METTET JORD

$$\frac{Q}{At} = v = k \frac{\Delta H}{L}$$

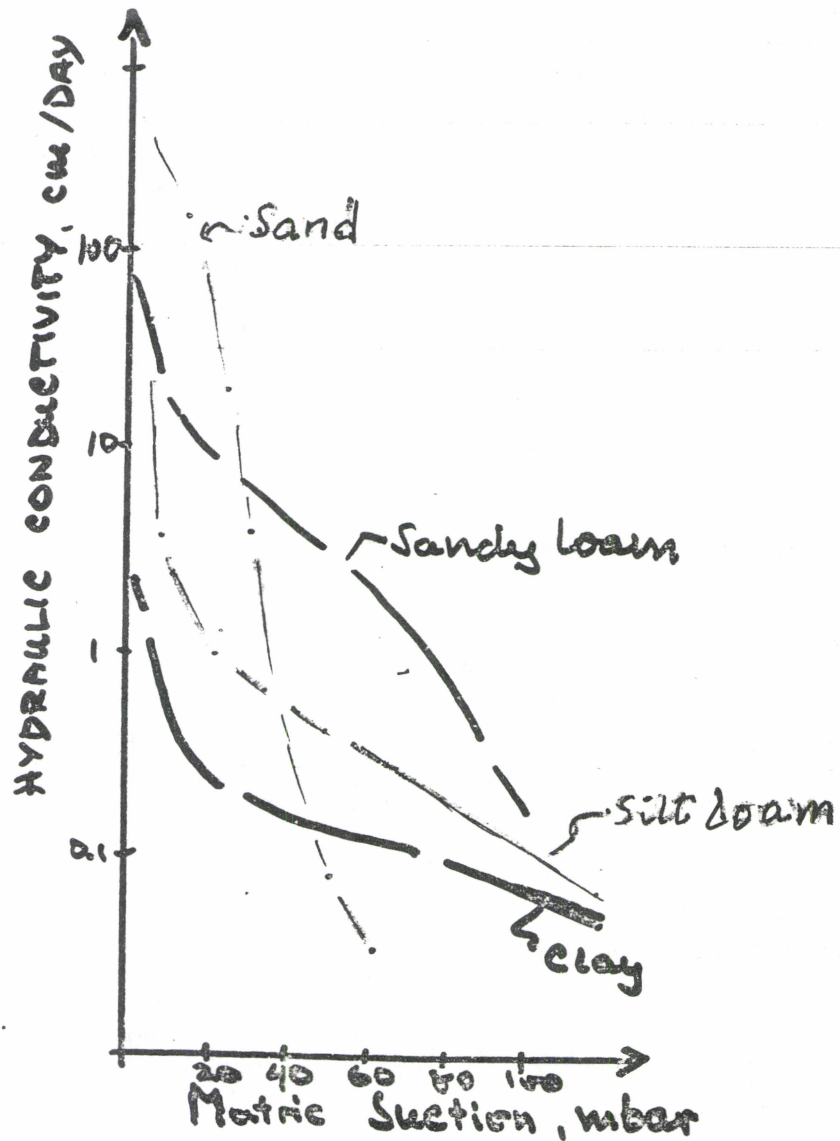


II. UMETTET JORD

$$\frac{Q}{At} = v = k(w) \frac{\Delta h}{L}$$

w = vanninnhold!

KAPILLAR VANNLEDNINGSEVNE



HYDRAULIC CONDUCTIVITY AS A
 FUNCTION OF MATRIC SUCTION
 IN DIFFERENT SOILS. THE GRADIENT $\left(\frac{cm}{cm}\right)$
 (Bouma, Daley, Vossman, 1974)

Forklaring av en del ord

Kraft er den påvirkning som får en masse til å endre hastighet. Kraft måles f.eks. i kp (kilopond) = den kraft en bruker når en løfter et kg-lodd mot tyngdekraften.

Trykk er forholdet mellom kraft og den flaten kraften virker på, f.eks. hjullast/anleggflate. Trykk måles i kp/cm², pund pr. kvadrattomme (p.s.i.). 1 kp/cm² = ca. 14,7 p.s.i.

Arbeid (mekanisk) er produktet av kraft og den veilengde kraften har virket over. Arbeid måles i f.eks. kpm.

Energi er evne til å utføre arbeid, eller arbeidsmengde. Energi måles i de samme enheter som arbeid.

Effekt er arbeid/tid. Den måles f.eks. i kpm pr. sekund (kpm/s).

Hestekraft er den effekt som svarer til 75 kpm/s.

Slirring er veitap på grunn av at hjulkanten tilbakelegger lengre vei enn selve maskinen. Slirring måles i prosent: $100 \cdot (1 - \frac{\text{framdriftshastighet}}{\text{hjulenes ferihastighet}})$.

Hastighet er forholdet mellom veilengde og tid. Hastighet måles i m/s.

Forkortelser:

m = meter
cm = centimeter
s = sekund
kg = kilogram (masse)
kp = kilopond (kraft)
hk = hestekraft

Manuskript: Arnor Njøs
Institutt for jordkultur
Norges landbrukskole
1432 Vollebekk

MASKINENE OG JORDA

Litt om jordas bygning og egenskaper

Jorda består av fast materiale og hulrom (porer). På ett dekar jord har ploglaget et volum på 200 m³ hvis dette er 20 cm dypt. Volumet av det faste materialet er noenlunde konstant, mens volumet av porene skifter med årstidene og med jordbehandlingen. Etter pløying er porevolumet stort, etter pakking med traktor og tilhenger blir det mindre. Ved pakking minker særlig volumet av de store porene.

Mineraljord er jord med minst 60 vektprosent av materialet som mineraldele i form av blokker, stein, grus, sand, silt og leir. Organisk jord er jord med minst 40 vektprosent organisk materiale. Det organiske materialet kan være til stede som torv eller mold, eller andre former. Torv er et organisk materiale, vanligvis med 50—60 prosent karbon (kullstoff) dannet av rester fra fuktighetselskende plantesamfunn og mer eller mindre omsatt ved begrenset tilgang på luft i fuktige omgivelser. Mold er dannet av vanlige landplanter ved omsetning under luftige forhold (drenert jord), hvor mineralmaterialet ofte er basisk (kalkrikt). I torv er porevolumet ofte mer enn 90 prosent, dvs. over 180 m³ pr. dekar i et vanlig matjordlag. I mineraljord er porevolumet for det meste 40—60 prosent, grovt regnet altså 100 m³ pr. dekar i ploglaget.

Jordartene får navn etter materialet og kornstørrelsesfordelingen. Hvis materialet i en organisk jord består av torv, blir jorda kalt torvjord. Den forekommer bare i myr, en landskapsform med minst 30 cm tykt torvlag i udyrket tilstand. En organisk jord hvor mold er hovedmaterialet, kalles moldjord. Mineraljord vurderes på grunnlag av kornstørrelsesfordeling og moldinnhold. Jord med mer enn 15 prosent leir, blir kalt leirjord. Leir er partikler mindre enn 2/1000 mm, for det meste plateformede. Mold og leir har stor evne til å lagre vann og næringsstoffer. Silt er partikler større enn 2/1000 mm, men mindre enn 60/1000 mm. Silt har stor evne til å lagre vann som er nyttbart for planter. Sand er partikler med størrelse 60/1000 mm til 2 mm. Sand har liten evne til å lagre vann, men stor evne til å transportere vann og luft. Grensen mellom sand og silt svarer omtrent til at enkeltpartiklene er synlige for øyet. Morenejord er en jordart avsatt under eller langs kanten av innlandsisen. Denne jorda inneholder for det meste både stein, grus, sand, silt og leir. I sandjord er partiklene store. Krefte mellom dem bestemmes av friksjon (gnidningsmotstand). Fastheten (motstanden mot formforandring) øker med normaltrykket.

I figur 1 er vist hvordan jordas fasthetstilstand endrer seg med vanninnhold og kornstørrelse.

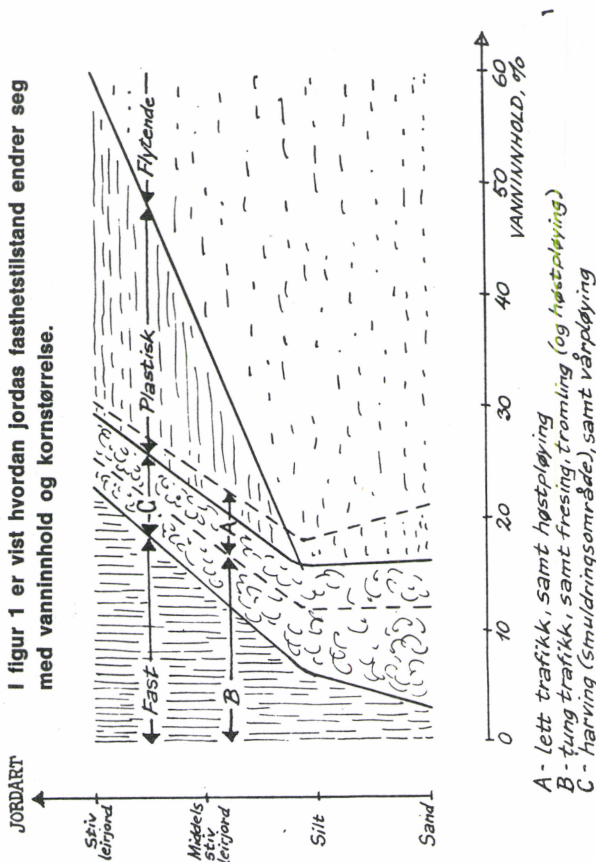


Fig. 1. Konsistensen (fasthetstilstanden) i ulike jordarter ved ulikt vanninnhold. Med økende vanninnhold får vi fasthetstilstandene fast — halvfast (C) — plastisk — flytende. A, B, C, angir områder hvor det er liten risiko for strukturskader, sett i forhold til bestemte påkjøringer.

Leirjord er kohesjonsjord i våt tilstand. Kohesjon betyr sammenheng. Innenfor et visst fuktighetsområde tar den form etter behandlingen, den er da plastisk. Ved mindre fuktighet kan den smuldre. Det blir ingen økning i fastheten om trykket øker ved stor jordfuktighet.

I figur 2 er vist hvordan friksjon og kohesjon forholder seg til vanninnholdet i jorda.

Torr leirjord forholder seg omtrent som sandjord, og fuktig leirjord har egen skaper fra begge. Vanninnholdet har stor betydning for fastheten. (Se figurene.) I torvjord er det liten fasthet. Lite omdannet torv, f.eks. sphagnumtorv, er ganske elastisk (kan ta igjen sin opprinnelige form etter behandling), mens sterkt omdannet torv er plastisk i våt tilstand. Et grasdekke armerer torvjorda, slik at fastheten og dermed bæreevnen blir større. Økning av bæreevnen kan til dels oppnås gjennom drenering. Innblanding av mineraljord har større virkning.

I snø er fastheten liten, i is svært stor. Frossen jord har svært stor bæreevne. Et velprøvd middel til å øke bæreevnen på skogsmyrer (for vintertrafikk) har vært å pakke snøen eller fjerne den, slik at det øvre torvlaget kan fryse til.

I tabell 1 er vist noen fasthetstall for ulike kjørebaneer.

FRIKSJONSKOEFFISIENT

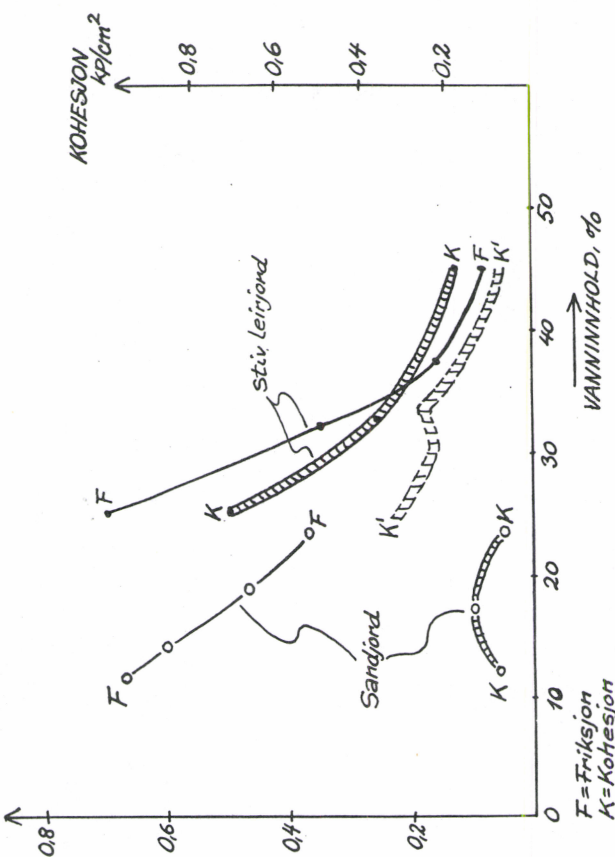


Fig. 2. Kohesjon og friksjonskoeffisient i sandjord og leirjord ved ulikt vanninnhold. (Kurvene er basert på data fra Bekker.)

Tabell 1

Kjørebane	Skjærfasthet, kp/cm²
Leirjord, stubbåker 0-10 cm dybde	0,2-0,4
Leirjord, eng 0-10 » »	0,4-0,8
Leirjord, harvelag i åker 0-5 » »	0,04-0,06
Leirjord, under harvelag 5-10 » »	0,10-0,30
Leirjord, under ploglag 20-30 » »	0,6-1,2
Snø, 0-10 cm dybde, etter setning	0,01-0,04
Snø, 50-60 » » ved jordoverflate	0,03-0,15
Torvjord, 0-20 » » udyrket eller stubbåker	0,01-0,1
Torvjord, 0-20 » » eng	0,03-0,2

Mange av disse tallene er helt skjønnsmessige, da det er utført få målinger.



Måling av skjærfasthet med vingebor.

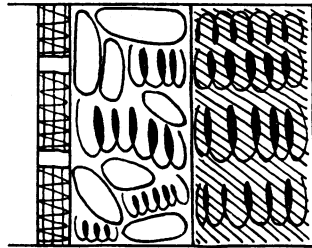
Pakking

Pakking er en korttidsbelastning av jorda. Resultatet av en pakking er for det meste at volumet av porer, spesielt større porer, avtar. En del av den tilførte energien (arbeidsmengden) går med til en formforandring.

Ved en langtidsbelastning (f.eks. jord under en mur) skjer det en langsom setning. Da regner vi med at jorda er mettet med vann. Vannet drives langsomt ut av porene, og det er dette som er årsak til volumtapet. Vi sier at det foregår en konsolidering. Ved pakking av jord er det sjelden at alle porer er fylt med vann. Da er det luft som drives ut av porene.

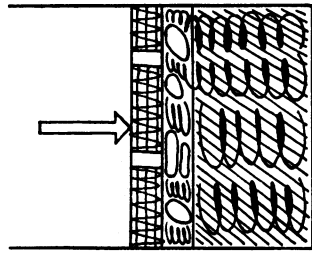
Vi kan tenke oss en modell av matjorda sett i forhold til pakking. (Se fig. 3.)

FØR PAKKING



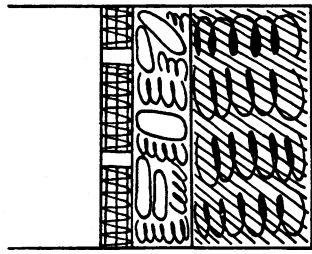
○ Pore, fylt med luft

PAKKING



▨ Vann

ETTER PAKKING



⊞ Fast materiale (elastisk)



Rotvekstransport har gitt dype spor. Jorda er tett og igjen. Etter playøying ser jorda fra sporene ut som en tett kake.

Det faste materialet i jorda på figur 3 er angitt som elastiske fjærer, litt løst fordelt i en beholder fylt med vann og små luftballonger. Ved pakking presses luftballongene sammen og går i stykker, og enkelte av fjærene blir også presset sammen. Etter pakking sveller jorda noe ut, men den får ikke tilbake sin opprinnelige høyde. Høgetapet blir kalt synking (eller setning). Pakking vil altså føre til at mengden av grove porer i jorda avtar. Jorda blir tettere; partikkelene kommer nærmere sammen.

Vibrering øker effekten av pakking. Partikkelene glir lettere inn i stillinger som utnytter plassen mest mulig. Vibrering har størst virkning i grovkornet jord.

Elting

Hvis en jord som er plastisk arbeides eller blir utsatt for trafikk, vil det foregå en varig formforandring. Elting kan vi få i praksis ved arbeid og kjøring i leirjord som er plastisk. Kraftig elting kan vi få ved å kjøre med lågt gear og stort omdreiningstall. I leirjord fører elting til at jorda får en grøtaktig konsistens

Fig. 3. Modell av en matjord som blir pakket.

mens den er våt. Når den tørker ut, stivner massen og sprekker opp i store klumper med tette sideflater og med et indre som er nesten fritt for store porer. Arbeiding av denne tørre massen fører til støv og klumper.

Maskinene i jordbruket

I tabell 2 er det gitt noen få tall som belyser den tekniske utvikling i norsk jordbruk.

Tabell 2

Trekkenhet	1949	1959	1969
Hester	198 000	117 000	42 000
Traktorer i alt	10 000	56 000	109 000
Traktorer, 2-hjuls	200	10 500	20 000
Skurtreskere	100	4 700	11 000
Lastebiler	5 000	10 500	5 000
Fôrhøstere	—	—	12 000

I 1969 var det omtrent 80 dekar dyrket jord pr. traktor. I Sverige var tilsvarende tall 200 dekar pr. traktor i 1960. I tiden 1949—1969 ble det i Norge tatt i bruk 10 nye traktorer for hver 15 hester som ble slått ut. Hvis vi i tillegg ser på traktorstørrelsen, finner vi at den disponible trekkeenergi har økt sterkere enn tallet på traktorer, spesielt i de senere år. Som et grovt middel var det i 1969 omtrent $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ hk pr. dekar dyrket jord.

For enkelte traktormerker ble det tidligere oppgitt to tall for effekt, f.eks. 10—20 hk. Det største tallet stod for stasjonær drift (remskive), det minste for arbeid på et jorde, f.eks. harving. Gjennomgående er det antakelig sjelden å oppnå så mye som halvparten av den oppgitte motoreffekt ved arbeider som omfatter trekk av redskaper og tilhengere. Resten går til varme, pakking av jord, etc. Det er over kraftuttaket vi har sjanse til å utnytte det oppgitte tallet på hestekrefter.

I mekaniseringens første tid var det populært å gjøre narr av hesten, den såkalte «havremotoren» som spiste brensel både når den stod på stallen og når den arbeidet. Alle har imidlertid oppdaget at en vanlig traktor er langt mer kostbar enn hesten når den står. Traktoren spiser avskrivning, mens hesten spiser havre.

Den disponible trekkeenergi kan synes stor, men er liten, sammenlignet med solenergien. En normal sommerdag får vi i Sør-Norge en innstråling som svarer til en effekt på 100—200 hk pr. dekar. Det er sjelden at mer enn en prosent

av dette brukes til planteproduksjon. Resten går til fordamping av vann, oppvarming av jord og luft, etc.

Av elektrisk energi er det også et visst forbruk, men dette er nok så uavhengig av arealstørrelsen. Den elektriske energien svarer neppe til mer enn 1/10 hk pr. dekar.

Opplysninger om totalforbruket av mekanisk energi fra maskinene kan vi få ved å multiplisere antall hk med forbrukstiden. Det som da slår oss, er hvor liten utnytting vi har av mange trekkmaskiner. F.eks. er det vanlig at selvgående skurtreskere ikke brukes mer enn 40 timer pr. år.

Energiveien fra motor til drivhjul

Trekkmaskinene omformer kjemisk energi til mekanisk energi. Den kjemiske energien går først over til varme. I gunstige tilfelle kan ca. 20 prosent utnyttes til mekanisk energi i motoren. Den kjemiske energien kommer fra olje, bensin e.l., og er i virkeligheten lagret solenergi fra tidligere tider. Via stempel og aksel går den rettinjede bevegelsesenergien over til rotasjonsenergi. Denne overføres så til kraftuttak eller drivhjul.

Hvis vi skal regne ut hvilken kraft som kommer fram til drivhjulet, kan vi bruke følgende formel:

$$H = k \cdot E, \text{ hvor } H = \text{hjuleffekt}$$

$$E = \text{motoreffekt}$$

$$k = \text{den delen av motoreffekten som overføres til hjulene} \\ (\text{ca. } 75\text{—}85 \text{ prosent})$$

$$\text{Videre kan vi finne at } H = F \cdot v, \text{ hvor } F = \text{felgkraft, kp}$$

$$v = \text{kjørehastighet, m/s}$$

Felgkraften er den kraften som kommer fram til bæreflatene på det drivende hjul fra motoren. Skriver vi om formelen, får vi

$$F = H/v = k \cdot E/v$$

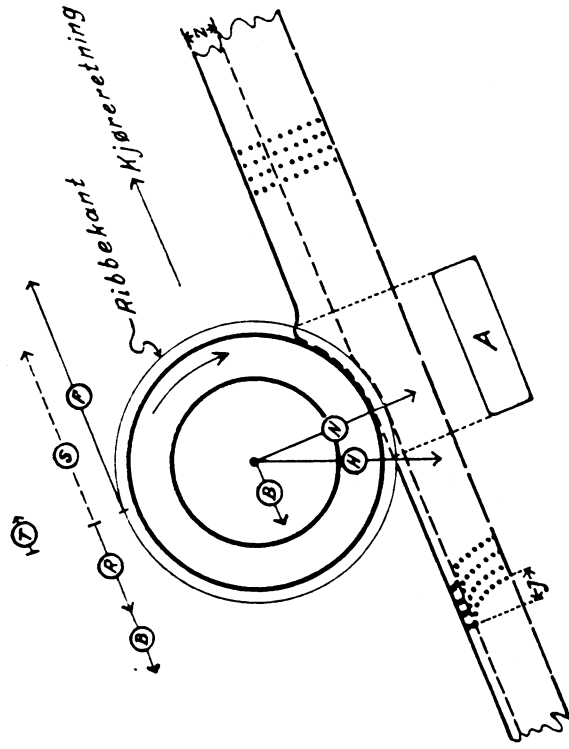
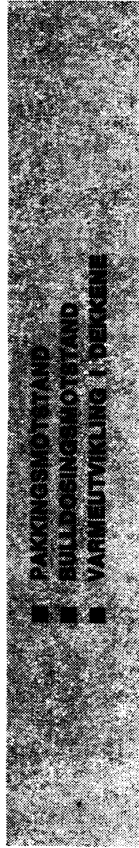
Hvis hastigheten oppgis i km/time og effekten i hk, får vi $F = k \cdot E \cdot 270/v$, hvor $v =$ kjørehastigheten målt i km/time og $E =$ motoreffekten målt i hk.

Eksempel: Hvis hastigheten er 10 km/t, $E = 50$ hk og $k = 80$ prosent, er felgkraften 1080 kp.

Tallet på hestekrefter, E , oppgis på noe forskjellig måte fra firmaene. F.eks. kan DIN-hestekrefter i visse tilfelle være opptil 25 prosent mer verdt enn SAE-hestekrefter. Normalt kan vi regne i hvert fall 10 prosent forskjell. Dette skyldes målemetoden. Effekten kan måles med ulike komponenter innkoblet (f.eks. med eller uten dynamo), og på ulikt sted mellom motoraksel og drev.

Rullemotstand

Rullemotstanden er summen av alle motstander som reduserer bevegelsesenergien. Det kan diskuteres om vi skal ta med bakkekomponenten av tyngdekraften. I motbakke virker tyngdekraftens bakkekomponent som en motstand, i medbakke som en tilleggskraft. Her vil vi velge å ta med under rullemotstand disse tre komponentene:



$A =$ Kontaktaareal
 $B =$ Bakkekraft
 $F =$ Felgkraft
 $H =$ Hjullast
 $J =$ Jordforskyvning
 $N =$ Normalkraft
 $R =$ Rullemotstand
 $S =$ Skyvekraft
 $T =$ Trekk-kraft
 $Z =$ Nedsynking

Fig. 4. Forenklet framstilling av krefter som virker på et drevet hjul med høgt luftrykk (flater lite ut). Pilene er tegnet delvis over hjulet for oversiktens skyld.

Pakkingsmotstand kommer av at det skal energi til for å pakke jorda sammen. Hvis jorda sveiler like mye ut igjen, er den elastisk, slik at energien ikke er tapt. Dette er et unntak som nesten aldri forekommer, i hvert fall ikke på åkerjord. Hvis to anleggsflater er like i størrelse, men ulike i form, vil pakkingsmotstanden bli størst der bredden er stor i forhold til lengden. Maskiner med høye hjul og midlere bredde møter derfor ofte mindre pakkingsmotstand enn hjul med stor bredde i forhold til høyden. Helt smale hjul vil derimot ha lett for å skjære seg ned. I praksis er det lettere å regulere bredde enn høyde. Ved å senke trykket i dekkene vil anleggsflaten øke, pakkningen bli mindre, og dermed også energitapet til pakkning. På en fast vei er nedsynkingen lik null. Kjøre-hastigheten er ofte stor. Derfor øker brenselforbruket når luftrykket i dekkene blir lite. Men det er viktig å huske at utenom veien, der det nesten alltid er små kjøre-hastigheter, er forholdet omvendt. I terrenget avtar den totale rulle-motstand med synkende luftrykk i dekkene fordi varmeutviklingen som skyldes rynkingen av dekkene er liten i forhold til energitapet ved pakkning og bulldosing.

Bulldosingsmotstand skyldes at hjulene (beltene) synker ned og presser jord foran seg. Den øker med økende bredde av bæreflatene og med nedsynkingen. Hvis nedsynkingen er null, er det ingen bulldosingsmotstand. Nedsynkingen kan minskes ved å senke luftrykket i dekkene. Bulldosingsmotstanden avtar derfor når luftrykket blir mindre.

Varmeutviklingen i dekkene øker når luftrykket i dekkene avtar, fordi dekkene da er utsatt for større formforandring. Energien til dette tas fra den totale motor-energi, og kan ikke gjenvinnes. Hvis bæreflatene består av belter, er det et lignende tap på grunn av friksjon i beltene.

Rullemotstanden, summen av de tre komponentene, vil ved terrengkjøring minke når marktrykket minsker.

Marktrykk

Vi har hittil sagt mye om luftrykket i dekkene. Det er strengt tatt ikke dette trykket som interesserer, men marktrykket.

Marktrykk = last/anleggsflate. For et hjul er marktrykk = hjullast/anleggsflate. Hjulasten er den maskinvekten som hviler på vedkommende hjul + vertikal last overført til hjulet, f.eks. fra det hydrauliske systemet. Et stivt hjul har konstant hjuiform uansett last, mens et gummi-hjul blir flatere når luftrykket i dekket senkes. Et lite gummi-hjul med stort luftrykk oppfører seg nesten som et stivt stålhjul. (Jfr. eldre norske tilhengerhjul.) Figur 5 viser trykkforholdene i forhold til dybden ved ulik last og ulikt trykk. Vi ser at hvis luftrykket i hjulet er det samme, er marktrykket nærmest hjulet også det samme. Derimot forplanter trykket seg lenger nedover ved stor last.

Det er lett å oppnå stort marktrykk under en tynn kjepp. Men det er et lite jordvolum som blir påvirket. Under en tung maskin, f.eks. en bulldoser, er marktrykket lite, men lasten er stor og jordvolumet som blir påvirket er også stort. Vi skal se på de krefteene jordsmonnet er utsatt for. Det er her naturlig å ta utgangspunkt i tyngdekraften og et areal på ett dekar. (Beregningene i tabell 3 på neste side er svært grove.)

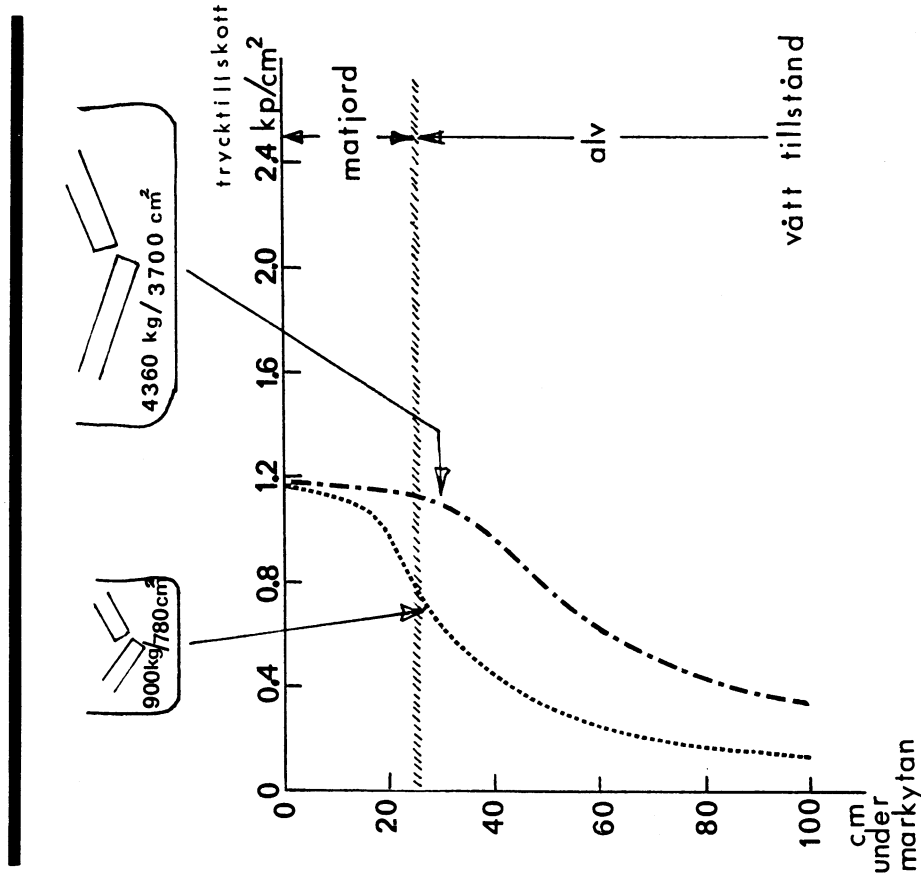


Fig. 5c. Trykkøkningen under en lett og tung traktor med samme marktrykk. I matjorda nedre del og i jorda like under matjordlaget er trykkøkningen 0,3–0,6 kp/cm² mer under den tunge traktoren enn under den lette (e. Eriksson).

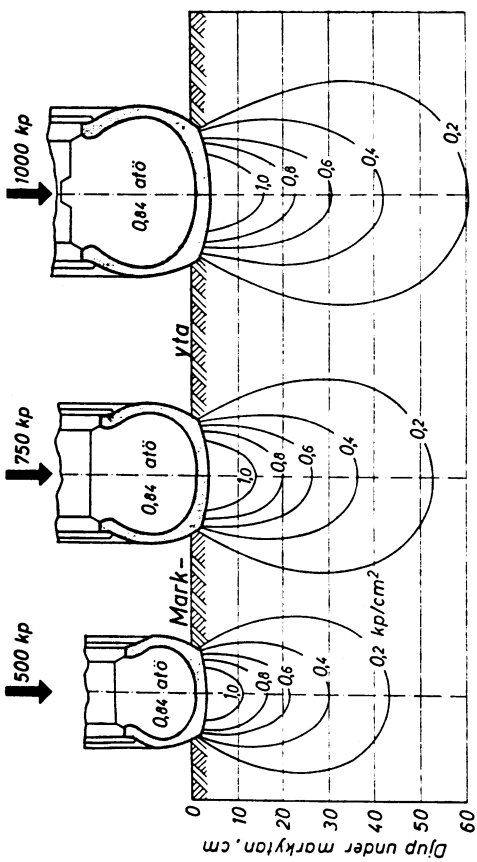


Fig. 5a.

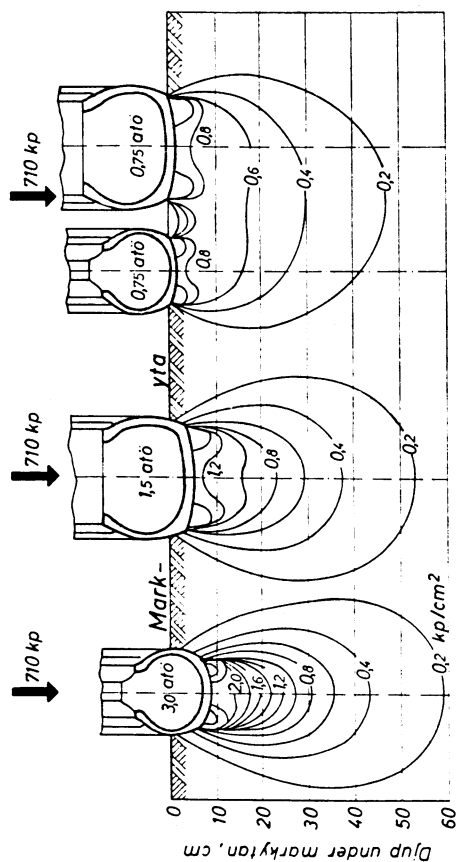


Fig. 5b.

Fig. 5a og 5b. Forholdet mellom trykkøkning og dybde.
 a) Ved samme luftrykk, men ulik last. Trykket forplanter seg dypest ved størst last.
 b) Ved samme last, men ulikt luftrykk i dekket. Trykkøkningen i matjorda er sterkt avhengig av luftrykket i dekket (e. Söhne og Eriksson).

Tabell 3

	Kraft = tyngde, kp	Marktrykk, kp/cm ²	Varighet av påvirkning pr. år
Bulldoser	20 000	0,6—0,8	
Traktor	2 000	1—2	1/6—1 sek.
Tilhenger	2 000	1—8	
Mann	80	0,2—0,4	
Ku	600	2—4	
Sau	80	1,5—3	
Snø, 0,6 m	150 000	0,015	50—150 døgn*)
Matjordlaget	250 000	0,025	365 »

*) I ett døgn er det 86 400 sekunder.

Når det gjelder traktor og bulldoser, har vi bare vurdert selve tyngden. Tar vi i tillegg med felgkraften, får vi en større kraft, men med en noe annen retning enn loddrett. Snødekket og matjorda gir statisk belastning, maskinene dynamisk belastning. Hvert spor på overflaten blir utsatt for traktorens tyngde mindre enn ett sekund. En traktor med større tyngde vil dekke et mindre spor-areal og varigheten av belastningen vil dermed bli mindre, sett på dekarbasis.



Platestruktur i matjordlaget i eng etter langvarig trafikk.

Trekkevne = Skyvekraft ÷ Rullemotstand

Under kjøring på jord er det til vanlig en viss slirning. Jordlaget like under bæreflatene forskyves bakover (fig. 4). Dermed oppstår det en reaksjonskraft. Denne kraften kan kalles skyvekraft. Skyvekraften har sin årsak i friksjon og kohesjon i jorda, og kan beregnes etter følgende formel:

$$S = cA + fN$$

hvor cA er produktet av kohesjon (sammenheng i jorda) og størrelse av kontaktflate, og fN er produktet av friksjonskoeffisient og normalkraft. For et flatt underlag er normalkraft = hjullast. Også andre faktorer påvirker skyvekraften. Det er vist at skyvekraften øker med jordforskyvningen under hjulene og med hastigheten av denne forskyvningen. Skyvekraften øker altså med sliringen innen visse grenser. Ved samme kontaktareal vil maskiner med langstrakt kontakflate (belter eller høge hjul) ha maksimal skyvekraft ved mindre slirning enn maskiner med bred kontakflate (låge, brede hjul). Utnyttningen av motoreffekten har vist seg å være størst ved en slirning på 10—30 prosent. Hvis felgkraften er mye større enn skyvekraften, får vi sterk slirning. Av hensyn til energi-bruket er det derfor av betydning at kjørehastigheten reguleres etter tilstanden i underlaget.

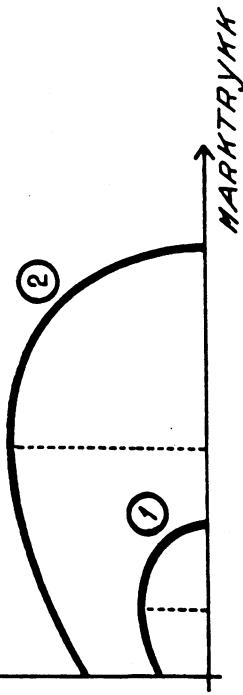
Trekkevne er differansen mellom skyvekraft og rullemotstand, altså den nettokraften som er til rådighet for å trekke en tilhenger eller et redskap.

I ren friksjonsjord (f.eks. tørr sandjord) øker skyvekraften med økende belastning av drivhjulene. I ren kohesjonsjord (f.eks. svært våt, stiv leirjord) øker skyvekraften med økende størrelse av bæreflatene. De fleste aktuelle jorder har egenskaper som ligger mellom disse to typene. Sumvirkingen av friksjon og kohesjon uttrykkes ved skjærfasthet. Ved stigende skjærfasthet øker trekk- evnen av minst to grunner: 1) Skyvekraften øker, 2) nedsynkingen, og dermed rullemotstanden, avtar. Det er vist at nedsynkingen øker med marktrykket.

Den ene delen av nedsynkingen skyldes forhold ved maskinene. På den andre siden har vi jordas bæreevne, som er direkte avhengig av fastheten. Ved stor jordfuktighet er det liten fasthet — både i friksjonsjord og kohesjonsjord. Sandjord og smuldret leirjord har vanligvis størst fasthet ved et midlere vanninnhold. Når smuldret leirjord får ligge i ro over lengre tid, setter den seg. Den vil da ha sin største fasthet i tørr tilstand, men dessuten ganske stor fasthet ved et midlere vanninnhold. I sandjord øker fastheten med marktrykket, men hvis grunnvannet står svært høgt, gir jorda etter. I tørr sandjord synker bæreflatene ned ved sterk slirning. En svært grov beregning viser at i sandjord kan skyvekraften utgjøre 60—70 prosent av hjullasten.

Bekker har innført et begrep han kaller «soil trafficability», som vi kan oversette med f.eks. framkommelighet, farbarhet eller kjørbarhet. Denne størrelsen omfatter forhold som gjelder både jord og maskin. De forhold ved maskinene som går inn i uttrykket, er marktrykk og form på bæreflatene. Ved samme kontakt-

FARBARHET



① Stor jordfuktighet

② Liten —————

Fig. 6. Farbarhet som funksjon av marktrykk og fuktighet i jorda. (e. Bekker).

areal er farbarheten størst når bæreflatene er langstrakte i kjøreretningen. Da er rullemotstanden liten. Av figur 6 ser vi at det optimale marktrykket er lite når jorda er svært fuktig. Ved optimalt marktrykk har en størst trekkvevne.

I torvjord er fastheten liten. I likhet med våt leirjord er det ikke mulig å oppnå noen vesentlig trekk-kraftøkning ved belastning av drivhjulene. Torvjord har ikke fast plogsåle, bortsett fra steder med svært grunn myr. Et plantedekke av flerårig eng øker fastheten. Eng kan i mange tilfelle betraktes som friksjonsjord, hvis bæreflatene ikke synker ned. Er grasdekket vått, blir friksjonskoeffisienten liten.

Klimafaktoren

Risikoen for kjøreskader og redusert trekkvevne er sterkt avhengig av fuktigheten i jorda. Men jordfuktigheten er igjen avhengig av forholdet mellom forbruk og tilføring av vann. Forbruket er det samme som fordampning og avrenning — tilføring svarer til nedbør. Vannbehovet hos plantene uttrykkes ved potensiell fordampning. Det er den vannmengde (i mm/døgn eller mm/måned) som fordampes fra en kort vegetasjon (gras) med fullgod vannforsyning. Fordampningen fra en våt jordoverflate er omtrent like stor som den potensielle fordampning, mens fordampningen fra en tørr overflate er mye mindre.

Ved hjelp av den såkalte Penmans formel kan den potensielle fordampning beregnes. Da ser vi at f.eks. i Ås er den potensielle fordampning i juni ca. 3—4 mm pr. dag. Ås har normalt forsommerørke. I Mo i Rana er det nesten ikke nedbørunderskudd — bortsett fra en kort periode i juni. Østlandet og distriktene rundt Trondheimsfjorden har en viss forsommerørke, mens kyststrøkene vestpå og nordpå har svært lite og bare kortvarig nedbørunderskudd. Det er overskudd på nedbør i høstmånedene, og delvis tidlig på våren i store deler av landet. I en spesiell stilling står tida like etter teleløsning. Da er jorda aller mest utsatt for kjøreskader. Hvis telen tiner ovenfra, er fastheten svært liten på grunn av en viss overmetning med vann. Dette vannet er ført til de øvre jordlagene ved frostheving og snøsmelting. Mest vann etter teleløsning er det i siltjordene (f.eks. mjølejord og koppjord).

I tabell 4 har vi prøvd å antyde tider med liten og stor risiko for nedsett bæreevne og for strukturskader. Vi har regnet med at det tar en viss tid før vannlagrene fylles opp etter nedbørunderskuddet om forsommeren.

Tabell 4

Sted	Liten risiko	Stor risiko
Ås	25. april — 10. sept.	Teleløsning, 1. okt. — oppfrysing
Klepp	1. mai — 20. aug.	» 15. sept. — »
Trondheim	1. mai — 10. sept.	» 20. sept. — »
Mo i Rana	15. juni — 15. juli	» 15. aug. — »

På Jæren er det mange år lite tele, men likevel bløtt i overgangen vinter—vår. Ved åkerbruk bør det vesentlige av trafikken være unnagjort før 10. september på Østlandet og i Trøndelag. Dette viser også god sammenheng med mulighetene for høsting av tørt korn. Innenfor «tørre» perioder må vi regne med risiko for kjøreskader under og kort tid etter regnvær. Risikoen for slike skader er størst på leirjord. Hvis jorda ligger til åker, må vi ta hensyn til at den kan smuldre ved jordarbeiding. For stiv leirjord er det utført noen beregninger i en hovedoppgave av Lillebakk (1969). (Se tabell 5.) Tallene gjelder perioden 1954—69.

Tabell 5

Sted	Dager som er brukbare for jordarbeiding	
Ås	21. april—30. april	1. mai—10. mai
Ørlandet	3	2
	2,5	3

Som vi ser, er det på slik jord et ganske begrenset antall dager som er brukbare for jordarbeiding. På selvdrenert jord (sandjord) er risikoen for kjøreskader langt mindre.

Da de fleste leirjordrer ikke er fullstendig drenerete, vil store nedbørmengder føre til midlertidig grunnvann i ploglaget. Dette betyr nedsatt bæreevne og trekkeevne, og risiko for strukturskader. I det hele tatt er de stive jordene blitt vanskeligere å mestre ved sterk mekanisering, fordi dreneringen går så langsomt. Dette er særlig følbart ved åkerdyrking. Ved intensiv engdyrking er det mye kjøring, men på den andre siden enkelt å senke marktrykket. Her kan bredden av bæreflatene økes uten at det blir vesentlig større rullemotstand (twillingshjul på traktor, bredere hjul på tilhengere og forhøstere). Ved engdyrking er det sannsynligvis av interesse å prøve nye ribbemønstre. De høge ribbene gir blant annet dype innsnitt i jorda og sår i plantedeckket. Ved åkerdyrking er de høge ribbene ofte nødvendige for å oppnå tilstrekkelig trekkeevne. Marktrykket kan varieres etter fastheten i jorda ved hjelp av regulering av lufttrykket.

Det er naturlig å spørre hvor langt det er ønskelig å senke marktrykket. Hvis vi unngår kjøring ved svært høg jordfuktighet, kan den nedre grensen antakelig settes ved 0,6—0,8 kp/cm² for fastmark, men foreløpig må vi ha som mål å komme under 1 kp/cm². For myr vil det være ønskelig med mindre marktrykk, særlig i åker. Det kan da bli aktuelt med lågtrykksdekk eller belter.

En raskere drenering er av betydning for å øke bæreevne og trekkeevne, da fastheten øker med synkende vanninnhold.

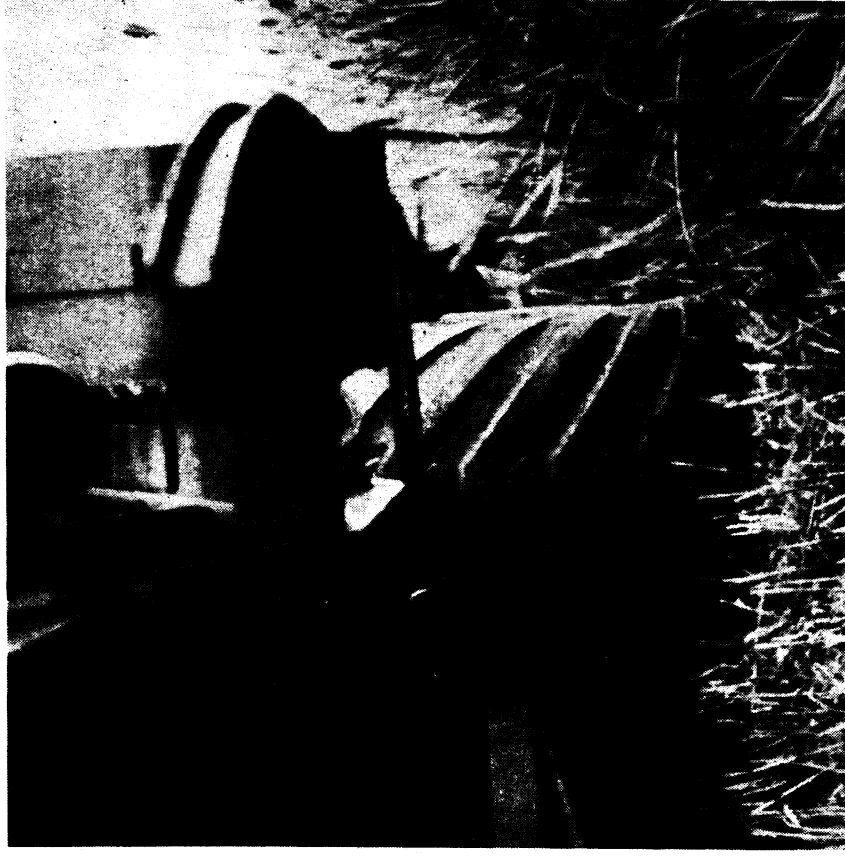
Redskaper som drives over krafttuttaket, f.eks. rotorharver og svingende ploger, krever større samlet motorkraft, men mindre trekk-kraft. Men det er også nødvendig å ta hensyn til f.eks. innkjøps- og vedlikeholdskostnader på lang sikt, og til jorda.

Jorda bør være noe tørrere ved bruk av rotorharv enn ved bruk av vanlig harv.

Heilingsforhold

Etter mekaniseringen av jordbruket er enkelte arealer blitt liggende ubrukt, fordi de har vært for bratte for maskindrift. Det har derfor blitt utført en del bakkeplanering for å utvide det effektive arealet av dyrket jord. I de tilfelle det er tatt vare på det gamle matjordlaget, har avlingene stort sett vært på høgde med avlingene på annen dyrket jord. Ved dyrking av eng eller høstkorn har en fått store avlinger også på undergrunnsjord.

Når det gjelder planeringsarbeidet, så er det mulighet for raskere massetransport ved bruk av U-formede skjær enn ved bruk av rette skjær. Det er ellers en erfaring at store bulldosere gjør arbeidet billigere enn små. I bekke-daler ser vi av og til mislykket planering fordi bare den ene siden av dalen er planert. Et vellykket resultat er her ofte avhengig av nabosamarbeid. I småkupert terreng er det av betydning å få tømt søkkene for matjord og deretter fylle dem med undergrunnsjord, og så få ensartet humuslag på toppen. På tett jord er



Lågtrykksdekk på skurtresker.

finplanering nyttig, slik at det ikke blir stående dammer etter nedbør. Erosjonsfaren øker med økende lengde av hellingene. Ved finplaneringen bør vi derfor lage små flater for oppsamling av overflatevann. Der det ikke er mulig å forandre terrenget, må vi ta sikte på å tilpasse mekaniseringsformen. I bratt terreng kan vinsjtrekk være det eneste mulige.

Driftsmåte og trafikk

Spordekningen på et visst areal er avhengig av antall kjøring, bredden på bæreflatene i forhold til redskaps- eller maskinbredden og spormønsteret. Ved korndyrking må vi regne at vi har følgende operasjoner: Pløying — stodding

— 2-3 gangers harving — såing av kunstgjødsel — såing av korn — tromling — sprøyting — skurtresking — transport av korn, evt. halm. Det kan være av interesse å se resultatet av alle disse kjøringene i form av spordekning (se tabell 6). Vi regner at spordekningen pr. kjøring er dobbelt hjulbredde/redskapsbredde.

$$SPD = 2b/B$$

SPD = spordekning (relativ)

b = bredde av hjul, belter

B = bredde av redskap

Tabell 6

Redskap	Antall		SPD	
	kjøring	Stor traktor	Liten traktor	Stor traktor
Plog	1	0,80	0,80	0,50
Slodd	1	0,20	0,20	0,12
Gjødselspreder	1	0,10	0,10	0,10
Harv	2	0,50	0,50	0,25
Såmaskin	1	0,25	0,25	0,15
Trommel	1	0,15	0,15	0,12
Sprøyte	1	0,10	0,10	0,08
Skurtresker	1	0,35	0,35	0,25
Transport	1	0,10	0,10	0,10
Sum	10	ca. 2,5	ca. 2,5	ca. 1,6

Ved engdyrking er trafikken sterkt avhengig av antall høstinger. Vi forutsetter tre høstinger og en middels stor traktor (se tabell 7).

Tabell 7

Redskap	Antall kjøring	SPD	Marktrykk, kp/cm ²
Gjødselspreder (husdyrgjødsel)	1	0,30	1—8
Gjødselspreder (kunstgjødsel)	3	0,30	1—3
Høsting, forhøster, traktor	3	1,70	1—3
Høsting, tilhenger	3	1,20	3—8
Høsting, transport ut av sporet (traktor + tilhenger)	3	0,20—0,60	1—8
Pussing, flekking, etc.	1	0,30	
Sum	10—14	ca. 4	

Vi kan uten tvil regne med større totaltrafikk ved ren engdyrking enn ved åkerdyrking. Transporten utgjør den største delen av engtrafikken. Det er sagt at jordbruk er transport mot egen vilje. Dette forholdet er svært tydelig ved moderne ensilering, hvor mesteparten av arbeidet består i kjøring av vann! Transporten vekk fra ett dekar jord er vurdert i tabell 8.

Tabell 8

	Avling, kg	Vann (avling ÷ tørrstoff), kg
Korn, kjerne	350	60
Korn, halm	400	70
Poteter	3 000	2 300
Kålrot	10 000	9 000
Gras til silo	6 000	5 000
Høy	800	120

Det er her regnet med forholdsvis store avlinger. Fastheten av jorda er størst der hvor det er eng, fordi grasrøttene armerer bærelaget og fordi jorda får sette seg gjennom flere år.



Enghøsting på tett jord om høsten.

Når det gjelder driftsmåte, kan vi som konklusjon si:

- Små maskiner gir stor spordekning. Er marktrykket det samme, blir jorda i øverste del av matjordlaget utsatt for omtrent de samme påkjenninger av ulike tunge maskiner. Jorda i dypere lag påvirkes mest av tunge maskiner (store jordvolum i bevegelse). Påvirkningene øker med jordfuktigheten, og er dermed avhengige av klimatiske forhold. Åkerbruk medfører større risiko for påvirkninger av matjordlaget enn engdyrking.

Skifteform og skifteveier

Det er mye som taler for å ha faste skifteveier, da vendeteiene alltid blir utsatt for sterk trafikk, og dermed for strukturendringer som igjen kan føre til avlingsreduksjon. Hvordan skal så skifteformen være i forhold til veinettet? Det er mange som holder på at skiftet skal være langt for å få mest mulig rette strekninger. Dette vil imidlertid føre til mye transport inne på skiftet. Matematisk er det svært enkelt å vise at kvadratet har den minste omkrets av alle typer rettvinklede firkanter. Her vil mange hevde at hvis en skurtresker har en gitt skjærebredde, så vil kjørelengden bli den samme enten stykket er langstrakt eller kvadratisk. Dette er riktig hvis en kjører rundt hele tiden, og hvis skjærebredden går opp et helt antall ganger i skiftebredden. (Egentlig må det bli et helt tall hvis teigbredden deles med det dobbelte av skjærebredden, ellers vil det kunne bli en tomtur.) Ser vi på operasjoner som kornskur eller grasslått uten å ta inn i bildet transport av avling bort fra jorden, kan en langstrakt skifteform ha noe for seg. Men hvis transporten inne på jorden tas med ved slike operasjoner som spredning av bløtgjødsel, tanktresking, enslering, potethøsting og rotveksthøsting, er det åpenbare fordeler med en kvadratisk skifteform. Hver skiftevei betjener da halve kvadratet, altså et rektangel som er dobbelt så langt langs veisiden som tvers på veisiden. Hvis flere slike skifter kan legges ved siden av hverandre, vil hver skiftevei betjene et helt kvadrat (et halvt kvadrat på hver side).

Ved harving kan vi med diagonalkjøring klare å harve hele feltet to ganger uten å få dobbeltkjøring på vendeteig. Dette er lett å gjennomføre på en kvadratisk skifteform.

Som eksempel på trafikkfordeling, kan vi ta en potetåker på 10 dekar. Vi tenker oss to skifteformer (se tabell 9).

Tabell 9

Skifteareal, dekar	Skifteform, meter	Totalavling, kg	Transport fra fjerneste halvpart av skiftet
10	10 × 1 000	30 000	15 000 kg med veiengde over 500 m (250 m)
10	100 × 100	30 000	15 000 kg med veiengde over 25 m

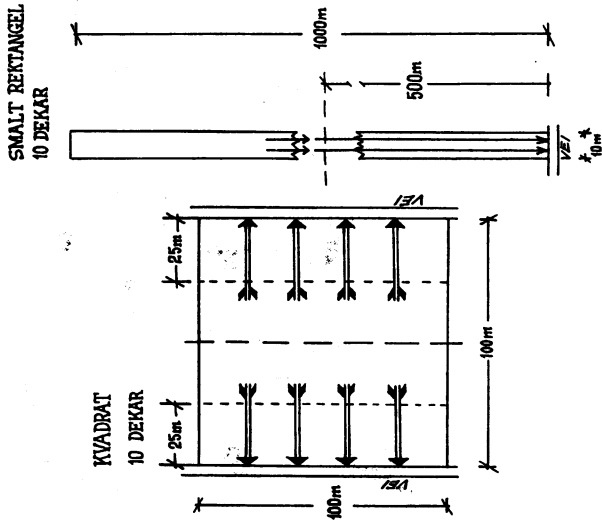
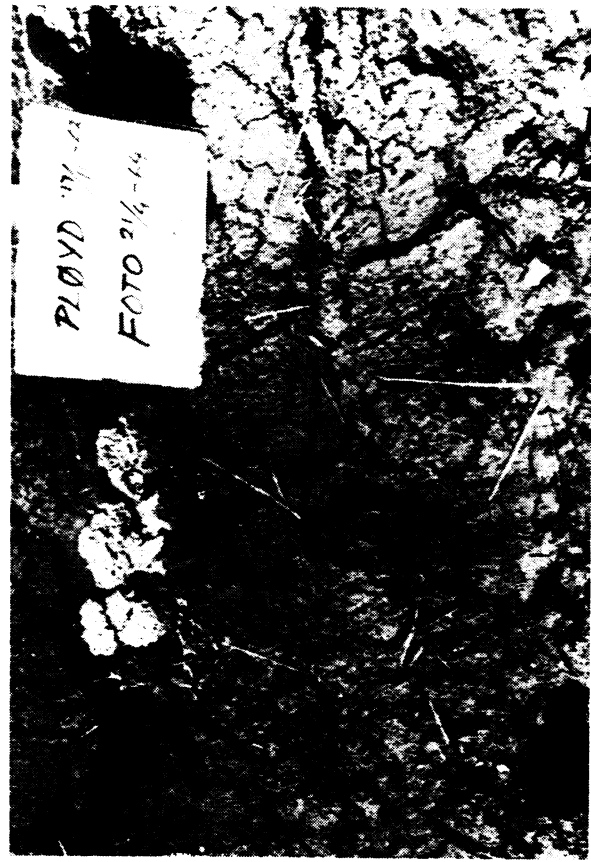
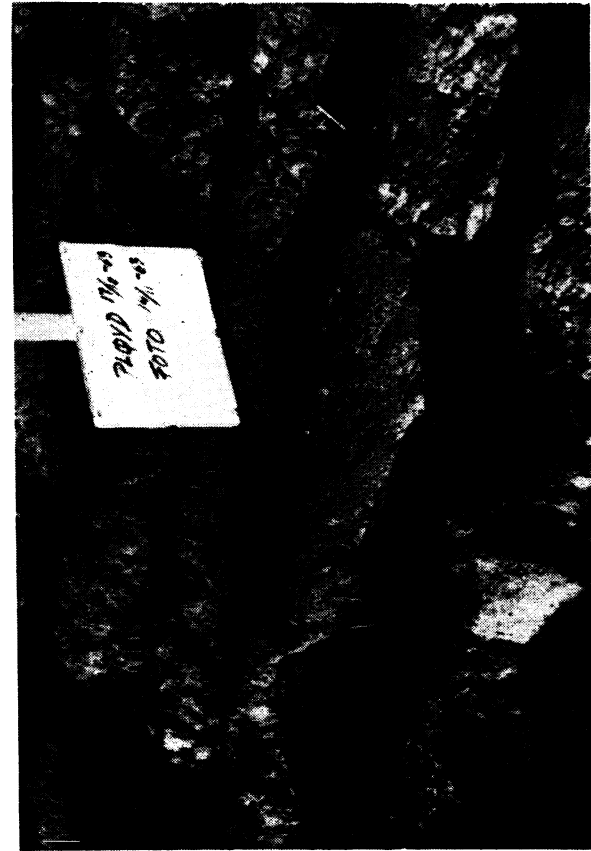


Fig. 7. Skifteform og trafikk-mønstre.

Vi har forutsatt at kvadratet enten har skiftevei på hver side eller i midten, mens det lange rektangelet har en skiftevei «nærmest husa». Forutsetter vi skiftevei langs begge smalsider av rektangelet, blir transportveien for «fjerneste halvpart» 250 meter. Langs-transporten på de lange skiftene er det grunn til å vurdere nærmere, da de langsiktige virkningene av så mye trafikk kan bli alvorlig (se neste avsnitt). Mot skifteveier kan det innvendes at et visst areal blir tatt ut av produksjonen. Til dette er å si at vanlige vendeteiger også gir liten produksjon. Ved planlegging av nydyrking på steinfull jord kan vi ta med skifteveiene i planleggingen, og så legge steingraver der skifteveiene skal gå. Da vil vi spare noe av transportkostnadene ved dyrkingen.

Maskiner — jord — plantevekst

Det har vist seg at avlingene ofte blir størst ved en midlere pakkingsgrad. På leirjord har tromling ført til avlingsøkning. (Se tabell 10 side 25.)



Frostvirkingen kan utbedre enkelte strukturskader i ploaglaset. Bildene på forrige side og bildet ovenfor viser hvordan en temmelig tett struktur om høsten har blitt endret ganske sterkt i løpet av en vinter med mye barfrost (Ås, 1963—1964).

Tabell 10

Behandling	Kornavling, kg pr. dekar
Ikke tromlet	264
Tromlet	281
Tromlet med last (ca. 200 kp pr. m bredde)	287

Trommelen var en vanlig Cambridge-trommel, og det ble tromlet etter såing. Spiringen kommer nesten alltid raskest i gang i hjulspor. Observasjoner tyder på at såbedet ofte har vært for løst. Dette kan skyldes dyp harving, klumpete jord eller en naturlig porøs jord.

Hvor sterk pakking skal det så til for å redusere avlingene? Dette spørsmålet har vært undersøkt i pakkingsforsøk. Et par av disse har nå gått bortimot 10 år. Jordarten er middels stiv leirjord med middels moldinnhold. Jorda har vært pakket hjul ved hjul med en middels stor traktor med ca. 0,9 kp/cm² trykk i bakhjulene og ca. 2,0 kp/cm² i forhjulene. Der jorda ikke er pakket hjul ved hjul, har den vært utsatt for bare den mest nødvendige kjøring. Jorda har blitt



Bildene viser frostvirking på tett leirjord. (Se ellers tekst under bildet på neste side).

Tabell 11

Behandling	Avling, kg pr. dekar	Skjærfasthet, kp/cm ²		Planter pr. m ²	
		0—10 cm	20—30 cm	Dylle	Kveke
Stor jordfuktighet, ikke pakket	236	0,8	1,1	15	17
Stor jordfuktighet, pakket	202	1,4	1,3	7	31
Liten jordfuktighet, ikke pakket	367	0,7	1,0	0	6
Liten jordfuktighet, pakket	361	0,9	1,2	0	6

harvet ved stor og liten jordfuktighet. Avlingsresultatet for fem år med bygg er vist i tabell 11.

Byggavlingene var høstet i 1961—64 og 1966, skjærfastheten var målt i 1970 og ugrasmengden i 1967. Alle ledd har vært harvet to ganger med kulturharv. Resultatene viser at den eitingen vi får ved stor jordfuktighet reduserer avlingen sterkt, og øker mengden av rotgras, særlig dylle og kveke. Videre er det vist at klumpmengden blir større. Pakking ved stor jordfuktighet forverrer denne situasjonen. I tillegg blir jorda svært hard og tett, og gir stor motstand mot plying. Ved plying blir det alltid ujamn og åpen plogse etter slik behandling. Denne tendensen har økt med varigheten av forsøket. I to år med eng (1969 og 1970) var virkningene av pakking ved stor jordfuktighet langt mindre enn i åker, selv om det også da ble pakket.

Pakking av tørr jord har ikke redusert avlingen nevneverdig, men jorda er blitt tettere og fastere både i matjordlaget og under. Dette kan tyde på at den langsiktige virkningen av pakking kanskje vil slå igjennom i avlingene på lengre sikt. En har nå satt i gang forsøk med langt sterkere pakking. Også disse forsøkene bør gå over lang tid.

Når det gjelder pakking og jordart, vil vi vise til en oppstilling av H å k a n s - s o n (se tabell 12).

Tabell 12

Jordart	Avlingsreduksjon av korn ved pakking med tung traktor, prosent
Stiv leirjord	11—29
Middels stiv leirjord	54—67
Leirholdig sandjord*)	31
Moldjord	2

*) Sandjorda hadde en partikkelstørrelse på 0,2—0,02 mm, altså en overgang mellom sand og silt.



Til høyre for stokken er jorda arbeidd ved stor jordfuktighet. Resultat: Formering av rotgras, i første rekke dylle og kveke.

Middels stive leirjorder med stort innhold av silt er mest utsatt for virkningen av trafikk, mens f.eks. moldrike jorder og moldjord blir mindre påvirket.

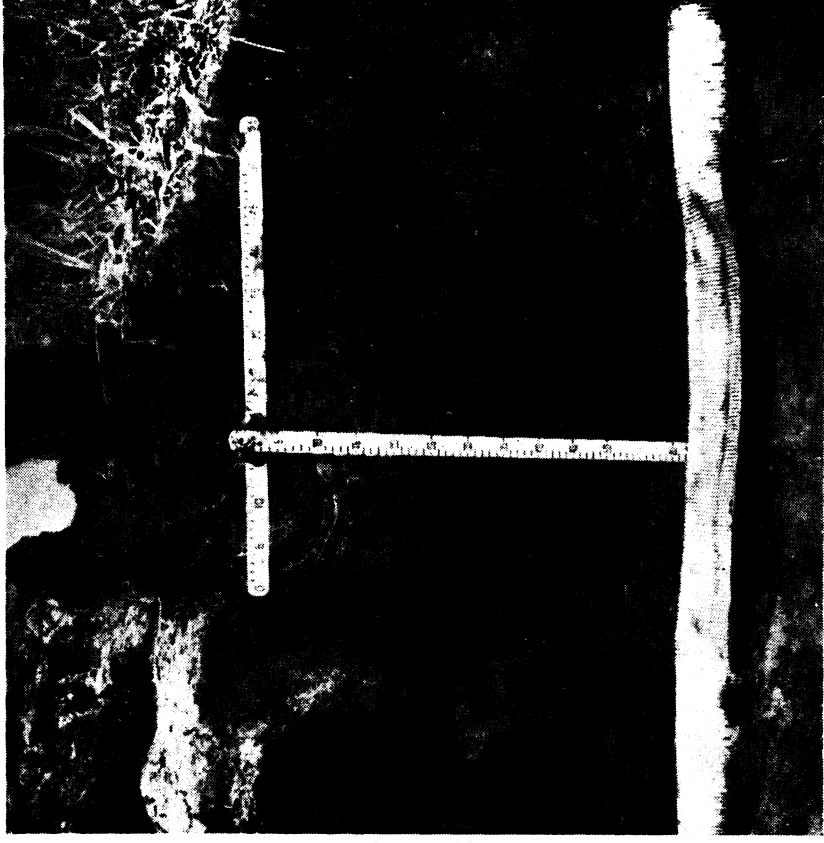
Den sterke sammenheng mellom ugrasmengde og jordbehandling/jordfuktighet tyder på at de gamle reglene for jordkultur, nemlig at ugraset kommer der hvor kulturvekstene ikke greier konkurransen, var forholdsvis riktige.

På pakket jord er det svært sjelden å se manganmangel på plantene. På jord som er pakket under våte forhold kan det bli sterk oksygenmangel, særlig ved høy temperatur. Planterøttene må konkurrere om oksygenet med alle andre organismer i jorda. Hvis forbruket er stort, kan det bli for lite for røttene. Dette gir seg utslag i nedsatt opptak av vann og næring.

Tiltak for å minske skadevirkningene av jordbrukstrafikken

En diskusjon av jordbrukstrafikken kan ikke rives ut av det store systemet klima — jord — maskiner — plantevekst. Resultatene fra pakkingsforsøkene gir grunn til ettertanke. Fastheten i jorda under matjordlaget har økt sterkt ved kjøring under våte forhold, men også noe ved kjøring under tørre forhold. Sammen med en rekke andre resultater, gir dette grunnlag for følgende konklusjoner:

- Hvis avlingene skal holdes på et høgt nivå, må det være minst mulig trafikk på vokseplassen
- Det er gunstig med skille mellom vokseplass og kjørebane i den utstrekning det er mulig
- Unngå kjøring når jorda er svært fuktig
- Det er uheldig at drenerbart vann blir stående for lenge på og i jorda
- Bæreflatenes dimensjoner bør tilpasses til last og underlag
- Marktrykket bør ikke være over 1,0 kp/cm² på mineraljord, og atekillig mindre på tørvjord
- Bruk tvillinghjul, lågtrykkshjul og belter når det er behov for det
- Lufttrykket i dekkene må reguleres etter bærevnen til underlaget



Bildet er tatt etter 60 kjøring. Det er tydelige forandringer i jordstrukturen ned til 1 meters dybde. Forandringene inntre allerede ved én kjøring og øker med antall kjøring (e. Eriksson).

Kan trafikkproblemene løses på andre måter?

Redskaper som drives over kraftuttaket har ikke slått igjennom, når vi ser bort fra høstmaskiner. Trass i at slike redskaper har forholdsvis lite trekkbehov, krever de stor motor. Små vedlikeholdskostnader og forholdsvis stor arbeidskapasitet kan være blant årsakene til at de gamle redskapstypene holder seg. Det ser derfor ut til at trekk-kraft fremdeles kommer til å bli skaffet fra grenseflaten mellom bæreflate og jord. Utviklingen hittil tyder på at maskinene blir større og tyngre, og at bæreflatene blir større, slik at marktrykket holder noenlunde samme verdi.

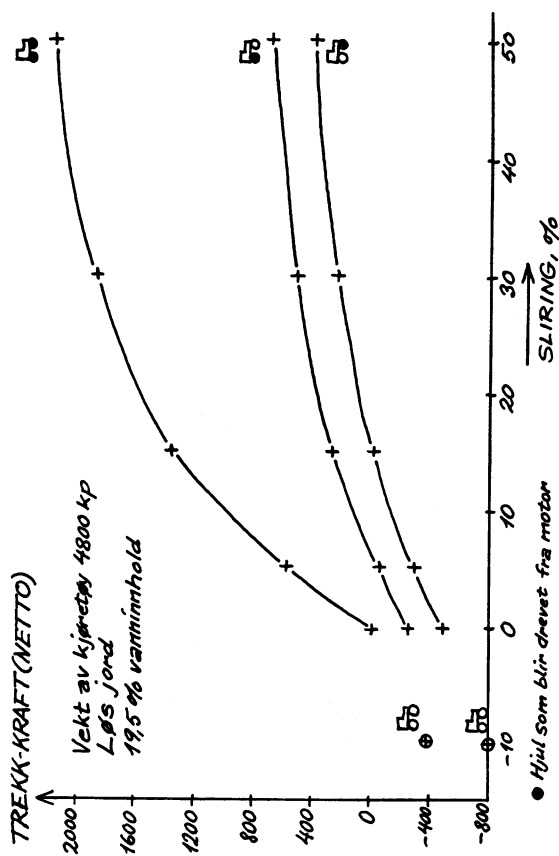


Fig. 8. Trekk-kraft ved tohjuls- og firehjulsdrift (e. H o l m).

Det er sannsynlig at traktorene får en noe annen utforming. Muligens blir de oppdeilt i en bære-enhet, en motorenhet, en kontroll-(styrings)enhet og en arbeidsenhet. Ved enkle koblinger kan en tilpasse enhetene til arbeidet.

Når det gjelder bæreflate, kan en sannsynligvis vente seg flere hjulpar, drift av flere enn ett hjulpar og bruk av myke dekk (se figur 8).

Det er trolig at dekk med myke sider, men med rund profil, vil være mer praktiske enn de såkalte lågprofildekkene. De siste kan ha lågt marktrykk, men dessverre også svakheter, som for eksempel at de kan gli ut i sidehelling. Til en bestemt jordart og en bestemt fuktighet svarer det et optimalt marktrykk. Derfor er et dekk med stor variasjon i krumning og utflating allsidig. Styre- og gripemønstre må ses ut fra samme syn, nemlig at det er et utall av situasjoner som skal mestres.

Muligens kan det også bli tatt i bruk mer revolusjonerende kjøretøyer, f.eks. luftputefartøyer. Men da må vi være klar over at selv om vi kan komme fram med trekkeneheten, er det ikke så klart at arbeidsenheten kan brukes. Det kan nemlig tenkes at jorda er for fuktig. Da er vi i grunnen tilbake ved starten, nemlig at klima — maskiner — jord — planter danner ett stort system.

