

JORDFYSIKK OG JORDARBEIDING

Forelesninger ved  
Norges Landbrukshøgskole  
1965.

av

Arnor Njøs

## INNHold.

	side
I. Litt historikk .....	1
II. Noen fysiske størrelser .....	1
III. Jorda som fasesystem .....	2
IV. Atom- og molekylbindinger .....	3
V. Vannet i jorda .....	5
VI. Lufta i jorda .....	25
VII. Varmeforhold i jorda .....	33
VIII. Det faste materialet .....	43
IX. Jordstruktur .....	54
X. Pakking - Konsolidering - Setning .....	77
XI. Samspillet mellom maskiner og jord .....	79
XII. Jordarbeiding .....	92

I. Litt historikk:

Ca. 1700:	Jethro Tull:	Radkultur Støvfint såbed
1800 - 1900:	Schübler:	Evaporasjon Kohesjon
	Wollny:	Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik
	King:	Dust Mulch
1907:	Buckingham:	Kapillærpotensialet
1920:	Gardner:	Måling av vannets potensial ved hjelp av trykkmålinger.
1930 - 1960:	Richards:	Tensiometer - Trykkmembraner

II. Noen fysiske størrelser.

Fysikk: Læren om materien og forandringer ved materien som ikke er kjemiske.

Fysiske størrelser kan måles.

Tre grunneheter:

<u>Lengde</u>	<u>Masse</u>	<u>Tid</u>	
cm	g	sek	(cgs-system)

<u>Fysisk størrelse</u>	<u>Symbol</u>	<u>Dimensjon</u>	<u>MKSA</u>
Veilengde	s	cm	m
Masse	m	g	kg
Tid	t	sek	s
Hastighet	$v = s/t$	cm/sek	m/sek
Akselerasjon	$a = v/t = s/t^2$	cm/sek <sup>2</sup>	m/sek <sup>2</sup>
Kraft	$F = ma = ms/t^2$	gcm/sek <sup>2</sup>	kgm/sek <sup>2</sup>
Arbeid, energi	$E = Fs = ms^2/t^2$	gcm <sup>2</sup> /sek <sup>2</sup>	kgm <sup>2</sup> /sek <sup>2</sup>
Potensial	$\Phi = Fs/m = s^2/t^2$	cm <sup>2</sup> /sek <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /sek <sup>2</sup>
Potensialgradient	grad $\Phi = d\Phi/s = s/t^2$	cm/sek <sup>2</sup>	m/sek <sup>2</sup>
Areal	A	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Volum	V eller Q	cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Tetthet (egenvekt)	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	kg/dm <sup>3</sup>
Trykk	$P = F/A$	g/cm sek <sup>2</sup>	kg/m/sek <sup>2</sup>
Viskositetskoeffisient	$\mu$	g/cm sek	kg/m/sek

Potensial (mekanisk) = Det arbeid en må utføre mot feltkreftene ved å overføre en masseenhet fra et 0-nivå (referensnivå) til et gitt punkt.

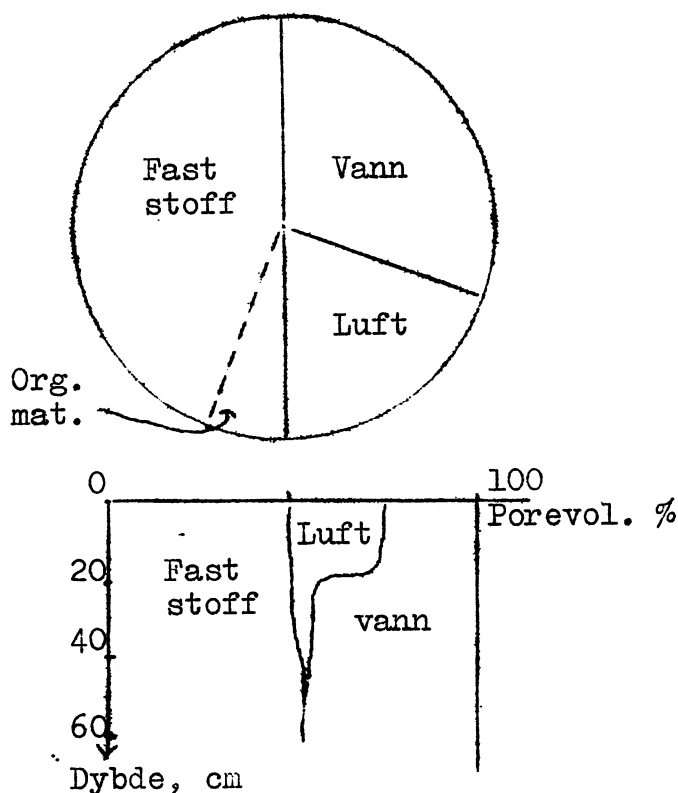
Gradient = Forandring av en fysisk størrelse med retning og avstand.

Viskositet = Indre friksjon i et stoff.

### III. Jorda som et fasesystem.

Ufrosset jord har tre faser:

Fast stoff - Vann - Luft.



Om vinteren kan det eksistere 3 faser av vannet samtidig, som væske og som is. og gass

Vi kan dessuten snakke om "en biologisk fase". Den er knyttet til porene i jorda.

$$\text{Jordvolum} = \text{Porevolum} + \text{Materialvolum}$$

$$\text{Porevolum} = \text{Vannvolum} + \text{Luftvolum}$$

Materialvolum = Volum av mineralmateriale + Volum av organisk materiale.

Nitsch-diagrammer viser den prosentvise volumfordelingen av de tre fasene som funksjon av dybden.

$$\begin{aligned} \text{Volumvekt } (\gamma) &= \text{Vekt av tørr jord} / \text{Jordvolum} \quad \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \\ \text{Spesifikk vekt } (\rho) &= \text{Vekt av tørr jord} / \text{Materialvolum} \quad \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right) \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \\ \text{Porevolum i \%} &= (1 - \gamma/\rho) \times 100 \\ \text{Poreforholdet} &= \text{Porevolum} / \text{Materialvolum} \end{aligned}$$

Med tørr jord menes jord som er tørket ved 105°C til konstant vekt.

Mineralmaterialet består av: Blokker, stein, grus, grovsand, finsand, grovleir, leire.



#### IV. Atom- og molekylbindinger.

##### A. Elektrostatisk eller primær valensbinding.

###### 1. Jonebinding.

Eks.:  $\text{Na}^+\text{Cl}^-$  hvor Na har en elektron i ytre skall og Cl mangler en elektron på at det ytre skallet er fullt.

###### 2. Kovalent binding.

Noen kombinasjoner bindes sammen ved deling av elektroner mellom to atomer. Elektroner har ikke en statisk posisjon rundt en kjerne, men hver elektron roterer rundt kjernen og spinner om sin egen akse.

Noen elektroner spinner i en retning, noen i motsatt retning. Det er bundet energi i slike partikler i bevegelse. Når to atomer med lik valens, men ulik bevegelsesenergi kommer innenfor samme innflytelsessfære vil ett eller flere elektronpar av motsatt spinnende elektroner i atomet med høgst energi passere over til atomet med minst energi og rotere rundt dette atomet. Energi fra det første atomet blir overført til det andre, slik at det andre får størst energi. Så skjer det en reversering av denne prosessen og en ny reversering o.s.v.

Det kovalente båndet er *ofte sterkere* ~~svakere~~ enn det joniske båndet og er mest vanlig for elementer som ikke danner joner, som f.eks. karbon, eller for elementer med negativ valens.

##### B. Hydrogenbinding.

Hydrogen kan betraktes som et element med ett elektron for mye eller ett elektron for lite i det ytre skall. Hydrogenatomet kan være i kjemiske kombinasjoner på følgende måter:

1. kation,  $\text{H}^+$
2. anion,  $\text{H}^-$
3. kovalent binding,  $\text{H}_2$
4. 1-elektrons binding  $(\text{H}\cdot\text{H})^+$
5. hydrogenbinding

Hydrogenatomet kan under visse betingelser bli tiltrukket av to atomer. Båndet mellom hydrogen-protonet og to anjoner kalles hydrogenbåndet. Sammenlignet med jonebinding er hydrogenbinding svak - bare ca. 6% i styrke. Den er likevel sterkt nok til å virke inn på mange egenskaper i materien. Bare de mest elektronegative elementer kan bindes med hydrogenbånd. F, O, N danner H-bindinger med avtagende styrke i samme rekkefølge

### C. Sekundære valensbånd, van der Waals krefter.

I 1873 kom van der Waal med en teori om en felles tiltrekningskraft mellom alle atomer og molekyler.

Keesom mente at denne tiltrekningen skyldtes orienterte dipoler. Dipoler er molekyler, hvor ladningen i middel er 0, men hvor den er ulikt fordelt, f.eks. på grunn av at katjonet er mye mindre enn anjonet, som i vannmolekyler. Debye har senere kommet med en teori om tiltrekninger mellom permanente dipoler og induserte dipoler - en tiltrekningskraft som svarer til tiltrekningen mellom et ikke-magnetisk jernstykke og en permanent magnet.

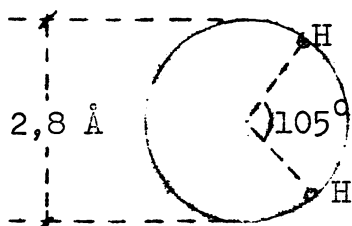
London beskrev i 1930 enda en type av bindingsenergi - den såkalte dispersjonsenergi som består mellom statistiske dipoler og tilstøtende molekyler. En statistisk dipol er et atom (molekyl) med gjennomsnittlig 0-ladning, men hvor elektronene i sin rotasjon kan gi atomet (molekylet) midlertidig dipolkarakter med vekslende avstand under rotasjonen om kjernen. Krefter som oppstår på denne måten blir kalt van der Waal-London-krefter

### D. Tiltrekningskraft og avstand.

Jon-jon	kraft	proporsjonal med	$1/r^2$
Jon-dipol	"	"	" $1/r^3$
Dipol-dipol	"	"	" $1/r^4$
Jon-indusert dipol	"	"	" $1/r^5$
Dipol-indusert dipol	"	"	" $1/r^7$
Statistisk dipol-indusert dipol	"	"	" $1/r^7$

V. Vannet i jorda.

A. Vannets fysiske egenskaper.



Oxygenatomet har en diameter på ca. 2,8 Å, mens hydrogenatomet er svært lite. Vannmolekylet har polare egenskaper, det vil si den totale ladningen

er 0, men de positive og negative ladningene er ulikt fordelt. Vi kan derfor kalle det en dipol.  $\boxed{- \quad +}$

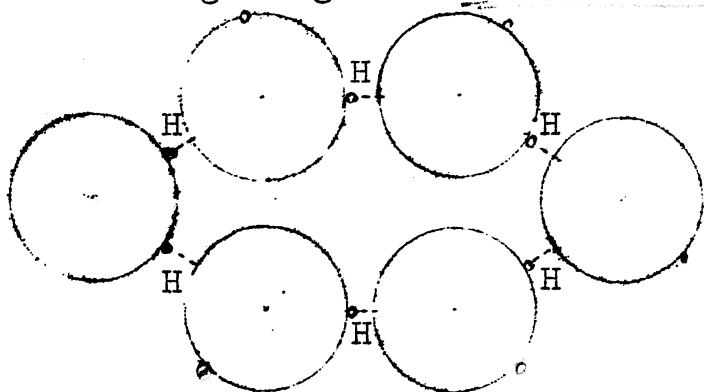
Vannets polare egenskaper er ansvarlig for mange av dets egenskaper:

1. Høgt smeltepunkt, 0°C. (*Assosiert vaske*)
2. Uvanlige tetthetsforandringer.
3. Sterk kohesjon ( $\approx 1500$  atmosfærer).
4. Adhesjon til overflater med oxygen (silikater, glass) eller NH<sub>2</sub>-grupper (proteiner).
5. Stor varmekapasitet.
6. Høgt kokepunkt, 100°C (forventning : ca. -100°C).
7. Høg fordampingsvarme.
8. Nedgang i viskositet med stigende temperatur.
9. Egenskaper som løsningsmiddel.

Vannets struktur har vært formål for mange studier, og en er kommet til at H<sub>2</sub>O som enkeltmolekyler stort sett bare eksisterer i dampform. For vann i væskeform er det riktigere å skrive (H<sub>2</sub>O)<sub>x</sub>. Derfor blir molekylvekten for vann i en beholder det samme som vekten av vannet i beholderen.

Når vannet fryser, utvider det seg ca. 9%. Dette kan føre til trykk på mange hundre atmosfærer, og er ansvarlig for mye av den geologiske erosjon i kjølig - fuktige strøk. Frostsmuldring på leirjord og leirholdige jorder er av stor betydning for å skape en gunstig struktur i

såbedet. Isen har hexagonal struktur. Hvert vannmolekyl omgir seg med i middel 4 andre vannmolekyler. Når isen



smelter, faller den faste strukturen sammen, men det vil fremdeles være krefter (hydrogenbånd) som hindrer at de enkelte molekyler beveger seg fritt. Hvert vannmolekyl har nå i middel mer enn 4 andre vannmole-

kyler rundt seg. På grunn av sterkere svingninger ved stigende temperatur avtar tettheten etter hvert, men like omkring 0 °C er det fremdeles en del "isberg" igjen, og det inntreer en slags likevekt mellom sammenfall og fra- støtning ved + 4 °C.

Skiftingen mellom vann- og isstruktur antas å være svært viktig ved bl.a. muskelarbeid.

Det er vist at vann nærmest silikatflater har samme spesie-  
Tetthet fikke vekt som is.

### B. Kapasitet.

Jordas vannkapasitet er det samme som jordas innhold av vann, uttrykt i volum- eller vektprosent. Da planterøttene stort sett er henvist til et bestemt jordvolum, vil vi for det meste holde oss til volumprosent. Det er enkelt å regne om fra volum til vektprosent. Det forutsettes da at vektprosent vann er beregnet på basis av tørrstoff (tørt jordmat.

Volumprosent = Volumvekt x Vektprosent. Likedan kan en lettvin komme over til vannhøyde i mm (for å ha en sammen- ligning med nedbør eller fordamping).

$$= \frac{\text{Vol. } \%}{100} \times (\text{Jorddybde i mm}) = \text{Vol. } \% \times \text{Jorddybde i dm}$$

Vannhøyde i mm pr. 10 cm dybde = Volumprosent. Eks.: I de øvre 50 cm av en jord er vanninnholdet i middel 20 volum-  
prosent. I mm er dette: (20 x 5)mm = 100 mm.

Volumvekt →  $\frac{V_v}{V_j} = \frac{V_v}{V_j} = \frac{V_v}{V} = \text{Volum } \% \text{ vann}$   
 Vekt av vann / vekt av jord

Vanninnholdet bestemmes ved tørking til konstant vekt ved 105 °C.

Volumprosent vann = (Vekt før tørking - Vekt etter tørking)  
: Jordvolum.

Her regner vi da at vann har spesifikk vekt = 1,0 g/cm<sup>3</sup>.  
Hvis prøvene blir uttatt med 100 cm<sup>3</sup> sylindre, er det naturligvis svært enkelt å finne både volumprosent vann og volumvekt.

Jordas aktuelle vanninnhold er det vanninnholdet vi til enhver tid finner i jorda.

Feltkapasitet er vanninnholdet i drenert jord 3-4 dager etter at jorda er blitt vannmettet og så dekket mot for-damping etterpå.

Visnepunktet er vanninnholdet i jorda når plantene visner uten å kunne komme seg ved overflytting til luft som er mettet med vanndamp.

Nyttbar vannkapasitet er Feltkapasitet + Visnepunkt (mål i de samme enheter).

Eks.:	Feltkapasitet	=	30 vol.pst.
	+ Visnepunkt	=	<u>15 -"-</u>
	Nyttbar vannkapasitet		15 vol.pst.

Hvis dette gjelder de øvre 70 cm i en jord, så vil det være 15 x 7 = 105 mm nyttbart vann for røttene.

Egentlig bør en ikke snakke om nyttbar vannkapasitet i et jordprofil uten at røttene har muligheter for å utvikle seg overalt hvor vannet er å finne. Hvis det for eksempel fins harde og tette lag rett under matjordlaget som stenger

for rotutvikling, eller hvis grunnvannet står helt opp til overflaten, har det liten hensikt å snakke om at det er så og så mye nyttbart vann i de øvre 100 cm av jorda.

Jordas vannkapasitet er bare én side ved vannet i jorda. like viktig er vannets intensitet og hastighet.

### C. Vannets intensitet.

Som mål for vannets intensitet, kan vi bruke vannets potensial. Enkelte forskere bruker vannets fri energi. Andre (f.eks. Andersson i Sverige) snakker om vannets bindingstrykk. Her vil vi holde oss til potensialbegrepet.

Vannpotensialet er det arbeidet en må utføre mot alle feltkreftene for å overføre én masseenheter (1g) vann fra et 0-nivå (referensnivå) til et gitt punkt i jorda.

Vannets 0-nivå kan defineres ved følgende betingelser:

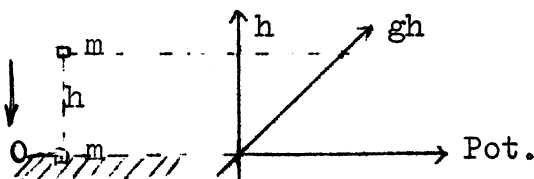
1. Ingen salter i vannet.
2. Høyde = 0
3. Tyngdekraften er eneste kraft som virker på vannet.
4. Atmosfærisk trykk.
5. Temperatur for 0-nivå = temperatur for jord.

De krefter vi må ta i betraktning, er : Tyngdekraft, trykkgradienter (hydrostatisk trykk), adsorpsjonskrefter, osmotiske krefter. Vi ser i dette tilfelle bort fra temperaturgradienter, da vi har satt som betingelse at temperaturen skal være konstant i jord-vannsystemet. Slike gradienter kan imidlertid være viktige for transportprosessene i jorda, i første rekke for vanndamptransport.

Vi skal nå se på de enkelte komponenter av vannpotensialet. Men først vil vi slå fast en meget viktig regel: Det er statisk likevekt når totalpotensialet er konstant i jord-vannsystemet.

# Tyngdepotensialet

## 1. Tyngdepotensialet.



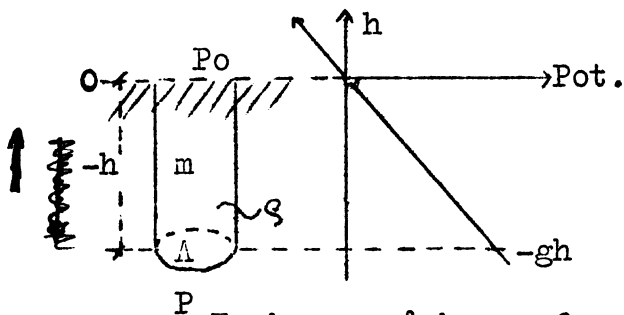
Arbeid mot tyngdekraft:

$$F \times s = mgh$$

Tyngdepotensial:  $mgh/m = gh$  *cm/s<sup>2</sup>*

$$\frac{N \cdot h}{kg} = \frac{kg \cdot m/s^2 \cdot m}{kg}$$

## 2. Trykkpotensialet. ????



Trykk =  $F/A = mg/A$

Trykkforskjell:  $\rho A(-h)g/A = P - P_0$

Trykkpotensial  $(P - P_0)/\rho = -gh$   
 eller trykkpotensial = -tyngdepotensial.

En kan også komme fram til trykkpotensialet på en annen måte:

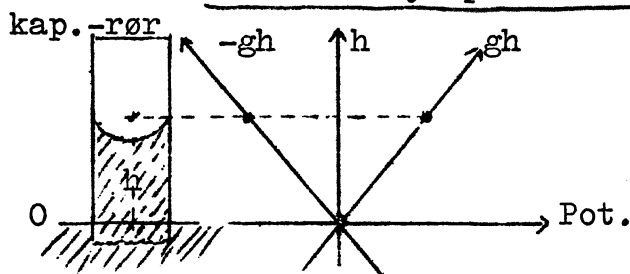
Trykkpotensial = Trykkarbeide/m =  $PV/m = (F/A)V/m$

$$m = \rho V$$

$$PV/\rho V = P/\rho = \rho(-hA)g/A\rho = -gh$$

## 3. Kapillærpotensialet.

I et kapillærrør vil vi ha statisk likevekt når det hydrostatiske trykkpotensialet = - tyngdepotensialet.



Totalpotensialet er 0 fordi det er likevekt med vann ved 0-nivået (vi forutsetter rent vann).

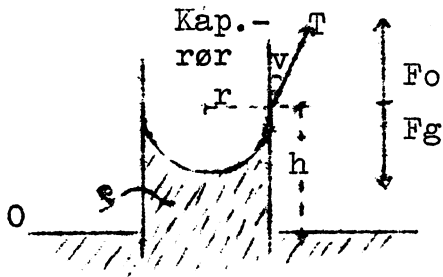
Vi ser også av formelen:

$(P - P_0)/\rho = -gh$  at når  $h > 0$ , er  $P - P_0 < 0$ , d.v.s. at trykket i en viss høyde i kapillærrøret er mindre enn atmosfæretrykket.

Hvorfor stiger vannet i kapillærrøret? Vi vet at hydrogenbindingen gjelder generelt hydrogen mellom to anjoner, og derfor vil vannmolekyler tiltrekkes av silikatflater (f.eks. glass) siden det der er O-grupper. Dette er den ene siden av saken, nemlig adhesjonen mellom glass og vann.

→ *Også tilh. p.g.a. lada overflaten.*

Det andre er kohesjonen i vannet. Kohesjon er tiltrekning mellom like molekyler og har samme dimensjon som trykk (kraft/flate). På grunn av kohesjonen mellom vannmolekylene har vannet en ganske stor overflatespenning. Overflatespenningen gjør at vanddråper prøver å trekke seg sammen slik at overflaten blir minst mulig (kuleform). Stigehøyden i et kapillærrør kan beregnes når vi kjenner overflatespenning og rørdiameter.



Vi vil her kalle overflatespenningen T. Den har dimensjonen kraft/lengde og virker altså i en ring rundt innsiden av røret.

Ved likevekt har vi:

Kraft nedover = kraft oppover

$$F_g = F_o$$

$$mg = T \cos v \cdot 2\pi r$$

$v$  = kontaktvinkel glass - vann.

For rent vann - rent glass, kan vi sette  $v = 0$ .

Vi får da (forutsatt at  $h$  er mye større enn  $r$ ):

$$\rho(\pi r^2 h) \cdot g = 2\pi r \cdot T$$

$$h = \frac{2T}{\rho r g}$$

Setter vi så  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ ,  $T = 75 \text{ g/sek}^2$ ,

$g = 981 \text{ cm/sek}^2$ , får vi

$h$  tilnærmet lik  $0,15/r$ .

*Handwritten notes:*  
 $2 = 75$   
 $981 \cdot 1$   
 $\frac{2 \cdot 75}{981 \cdot 1} = \frac{150}{981} \approx 0,15$   
 $\frac{0,15}{r \cdot \text{cm}} = \frac{0,15}{r \text{ cm}}$

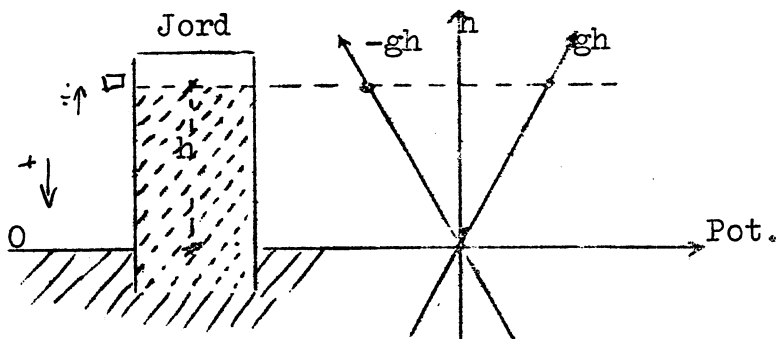
Dette sier oss at stigehøyden er omvendt proporsjonal med rørdiameteren. For jord kan vi si (tilnærmet) at den kapillære stigehøyden for vannet er omvendt proporsjonal med porestørrelsen.

Adsorpsjonspotensialet er et potensial som skyldes adsorpsjonskreftene. Det kan vurderes ut fra en mikroskopisk betraktningssmåte ved å se på adsorpsjonskreftene, som da både kan være forholdsvis langtrevkende (hydrogenbinding), eller av kort rekkevidde (van der Waal-London-krefter). Adsorpsjonspotensialet er ikke målbart.

*(og elektrostatiske tiltr.)*



Kapillærpotensialet omfatter summen av trykkpotensial og adsorpsjonspotensial og er målbart. Hvis vi har statistisk

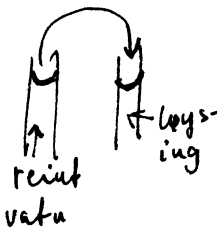


likevekt i et jord-vannsystem, og det ikke er salter til stede, er kapillærpotensialet = - tyngdepotensialet = - gh.

Hvis betingelsene for referensnivået er oppfylt i vannoverflaten, er totalpotensialet = 0 overalt i jord-vannsystemet. Tyngdepotensialet blir mer positivt med høyden over 0-nivået, mens kapillærpotensialet blir mer negativt.

#### 4. Osmotisk potensial.

Et osmotisk potensial får vi bare hvis det eksisterer semi-permeable membraner, det vil si membraner som ikke hindrer vannmolekylene, men saltmolekylene i å passere. Uorganiske molekyler, som løses opp i vann, senker damptrykket. Har vi et isotermisk rom med to beholdere, en med rent vann og en med løsning, vil vanndamp bevege seg med damptrykkgradienten fra vannet til løsningen. Grenseflaten løsning-luft er i dette tilfelle en semipermeabel membran. Oppløsning av salter fører til at vannpotensialet blir mer negativt. Den osmotiske komponenten kan være av betydning i saltbitter-jord.



#### 5. Måling av vannets intensitet.

Vi har:

Totalt vannpotensial = tyngdepotensial + kapillærpotensial + osmotisk potensial.

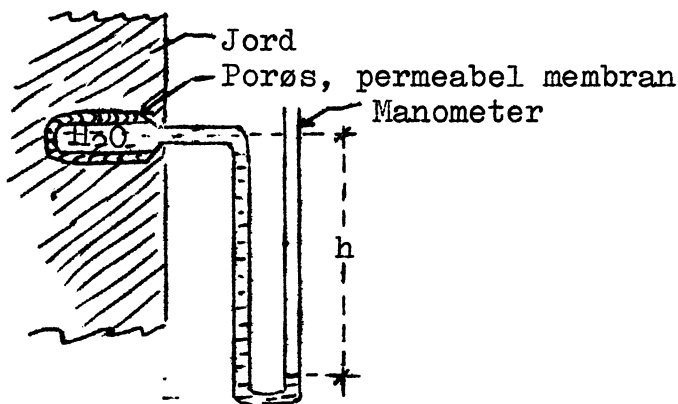
Summen av kapillær- og osmotisk potensial kan måles ved hjelp av vanndamptrykket. På grunn av at damptrykket er så sterkt avhengig av temperaturen, er dette en meget vanskelig måling, som krever at avvikene i temperatur er mindre enn 0,01 °C i området feltkapasitet - visnepunkt. Målingen er

derfor foreløpig ikke særlig anvendelig, bortsett fra i finere laboratoriearbeid. Kapillarpotensialet kan måles ved hjelp av trykkforskjeller (Richards) over en permeabel membran. En slik membran slipper salter og vann gjennom, men ikke luft. Vi husker formelen for trykkpotensialet

$$(P-P_0)/\rho = -gh$$

Her kan  $\rho$  settes =  $1 \text{ g/cm}^3$  og tallverdien av trykkforskjellen blir lik tallverdien av trykkpotensialet.

Richards utnyttet dette da han laget et tensiometer (tension = spenning). Tensiometret består i sin enkleste



form av en vannfylt beholder med en porøs permeabel membran (av f.eks. keramikk) og et manometer. Setter vi tensiometeret ned i en helt vannmettet jord vil vi ikke få noe utslag,

kapillarpotensialet = - tyngdepotensialet = 0.

Senker vi grunnvannsnivået til en likevektstilling 10 cm under sentrum av den porøse koppen og dekker overflaten mot fordamping, vil vi lese av et undertrykk på 10 cm vannhøyde. Senker vi grunnvannsnivået til en ny likevektstilling ved 80 cm dybde (fremdeles dekning av overflaten mot fordamping), vil vi lese av et undertrykk på 80 cm vannhøyde (80 cm v.h.).

Hvis jorda er tørrere enn metning, er det altså et sug gjennom den porøse veggen i membranen, og det tilsvarende undertrykket inne i den porøse beholderen blir lest av på manometret. Skriver vi formelen for trykkpotensialet - som her svarer til trykkpotensialet i den porøse koppen - på en litt annen måte, har vi

$$h = -(P-P_0)/\rho g$$

Av denne formelen ser vi at når  $h > 0$  er  $P-P_0 < 0$ , det vil si at over en fri vannflate er trykket negativt og det til-

svarende undertrykket positivt. Grunnvannsspeilet er en vannflate med hydrostatisk trykk = atmosfærisk trykk =  $P_0$ .

Undertrykket i tensiometret blir på engelsk kalt soil moisture tension eller matric suction. Det skulle svare til fuktighetsspenning, men vi kan også kalle det "sug" (suction = sug). Tensiometret kan bare brukes mellom metning og ca. 850 cm v.h. undertrykk (sugetrykk). Blir undertrykket større, koker vannet i beholderen.

Vi må merke oss at denne målingen av kapillærpotensialet ved hjelp av trykkmåling i tensiometret forutsetter statisk likevekt mellom vannet i jorda og vannet i tensiometret.

Med trykkplater og trykkmembraner menes utstyr som har til hensikt å måle vanninnholdet i jordprøver som funksjon av trykkforskjellen over en porøs membran. Her brukes det overtrykk. Det er stort sett finheten av membranene som bestemmer hvor høyt en kan gå i trykk. En har funnet at visnepunktet for mange plantearter ligger ved et energinivå som svarer til det vannet en kan drive ut av jorda ved et overtrykk på 15 atmosfærer (ca. 15500 cm v.h.). Plantene kan også visne hvis de står i en saltløsning med osmotisk trykk på 15 atmosfærer. (Totalpotensialet like stort i begge tilfelle.)

Relativ luftfuktighet er et mål på hvor langt jorda er fra metning og kan brukes til å måle vannets potensial. (NB!! Ved konstant temperatur!!) Ved visnepunktet er den relative luftfuktigheten ca. 98,8%.

Siden visnepunktet kan knyttes sammen med et gitt potensial (eller trykk), skulle en vente det samme for feltkapasiteten. Men her er dreneringen det avgjørende punktet. Bruker en f.eks. 100 cm v.h. som et mål på energinivået ved feltkapasitet, forutsettes statisk likevekt i et system hvor avstanden til grunnvannsnivået er 100 cm, og at det er sammenhengende

vann søyler fra overflaten ned til denne dybden. Det siste er like viktig som det første, da vanninnholdet ellers ikke svarer til 100 cm v.h. undertrykk (sug).

I et veksthus snakkes ofte om benkekapasitet som svarer til vanninnholdet ved det undertrykket (sug) en får på grunn av at den frie vannflaten ligger i bunnen av benken (f.eks. 20 cm under overflaten). For å unngå disse vanskelighetene bruker en nå mer og mer ordet kapasitetsdifferens (C) som er forskjellen i vanninnholdet mellom to gitte potensialer (sugetrykk) eks.: 100 cm v.h. og 15500 cm v.h.

Vi skal til slutt repitere de forskjellige målene som brukes til å karakterisere vannets energinivå (bindingsenergi).

Kapillærpotensial + osmotisk potensial måles ekvivalent med vanndamptrykk (cm v.h., mmHg).

Kapillærpotensialet måles ekvivalent med trykkforskjell

over en porøs membran

$\text{dyn/cm}^2, \text{kp/cm}^2$  - ekv. med cm v.h., mm Hg

1 bar =  $10^6 \text{ dyn/cm}^2 = 10^6 \text{ g/cm sek}^2$

1 atmosfære = trykket av 760 mm Hg, 1033 cm v.h.,

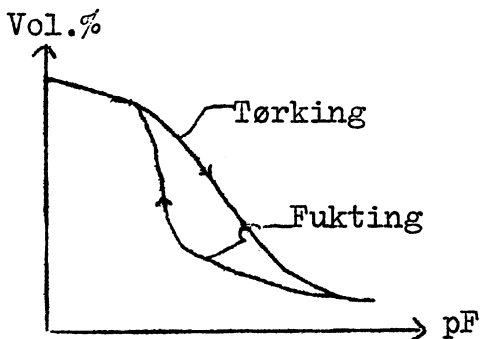
= 1,033  $\text{kp/cm}^2 = 1,013 \text{ bar} = 14,7 \text{ p.s.i.}$

$pF = \log \text{ cm v.h.}$

Nedenfor er gjengitt en sammenligningstabell.

	cm, v.h.	pF	atm.	Rel. luftfuktighet
Metning	0	$-\infty$		100%
	0,1	- 1		
	1	0		
	10	1		
	100	2	~ 0,1	
	1 000	3	~ 1	99,2%
	10 000	4	~ 10	99,2%
Visnepunkt	15 500	4,2	15 atm.	98,8%
	100 000	5	~ 100	92,7%
	1 000 000	6	~ 1 000	47,3%
	10 000 000	7	~ 10 000	5%

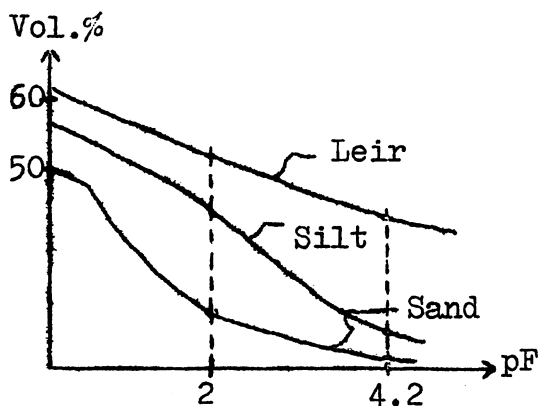
## 6. Kapasitets - Intensitetskurver for vannet i jorda.



Figuren viser hvordan vanninnholdet skifter med kapillærpotensialet (i dette tilfelle ekvivalent med pF) i en sandjord med dårlig gradering. Vi får én kurve for fukting og én for tørking.

Ulikheten mellom dem skyldes hysterese, det vil si at vanninnholdet ikke er en entydig funksjon av kapillærpotensialet, men også av den tidligere historie for systemet. Når jorda tørker ut, kan store hulrom være fylt med vann inntil den største av de små porene som leder til hulrommet blir tømt. Hvis alle porene var jamnstore, ville hele systemet tømmes når suget (undertrykket) tilsvarte poreradien. Når jorda fuktes, vil et stort hulrom fylles når undertrykket tilsvarende største diameteren i hulrommet. Systemet er altså mindre vannmettet ved fukting enn ved tørking for et bestemt kapillærpotensial.

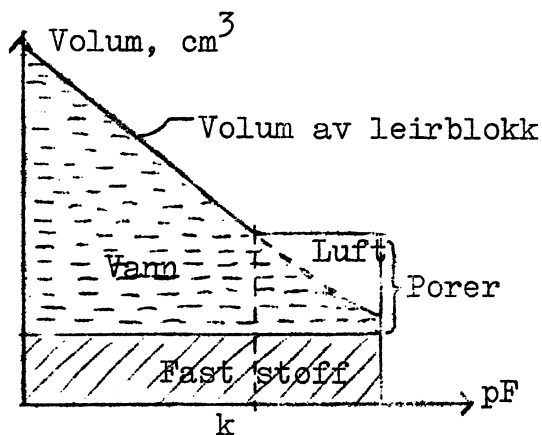
### Fuktighetskurver for ulike jordarter.



Silt = fin finsand + grovleir  
På figuren er forutsatt at vanninnholdet ved pF 2 tilsvarende feltkapasitet.

Det er ganske stor forskjell på fuktighetskurvene for ulike jordarter. For naturlige jorder er vanninnholdet ved visnepunktet en funksjon av leirinnholdet. Den nyttbare vannkapasiteten er i mange tilfelle størst for jorder med stort innhold av fin finsand og grovleire. (Heinonen) Økende moldinnhold forskyver leirjorda og sandjorda i ret-

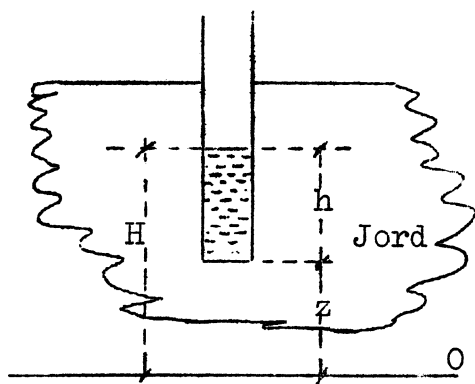
ning av større nyttbar vannkapasitet.



$k$  = krympegrense

Det er målt vertikale bevegelser på opptil 4 cm i leirjord med grasdekke (i Australia). I naturlig tilstand er det stort sett luftfylte porer i all slags jord, men ved kjøring i våt tilstand kan antallet av større porer bli sterkt redusert.

I sandjord er høyden over grunnvannsspeilet et mål for sugetrykket - vel å merke hvis det er likevekt. Dette forutsetter at vannsøylene er sammenhengende. I en høyde av 100 cm over grunnvannsspeilet er altså sugetrykket lik 100 cm vannhøyde. Dette svarer til  $pF$  2.

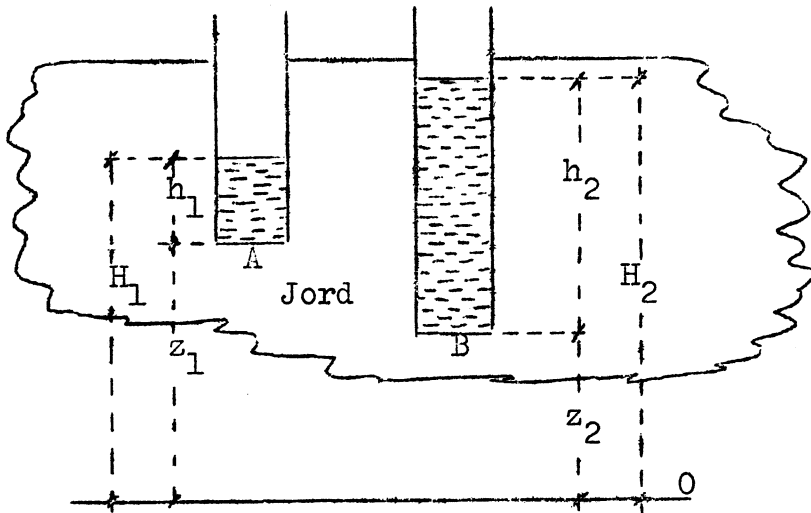


Hvis et åpent rør settes ned i en sandjord, vil grunnvannsnivået innstille seg på samme høyde i røret som utenfor. Velger vi nå et referensnivå, vil den hydrauliske høyden ( $H$ ) være lik høyden av vann-nivået i røret over referensnivået, mens trykkhøyden ( $h$ ) er høyden av vannsøylen i det åpne røret, og den geometriske høyden ( $z$ ) er høyden av endepunktet for røret over referensnivået. Altså har vi

$$H = h + z$$

I leirjord er det ofte slik at det ikke kommer luft inn i porene før ved ganske sterk uttørring (høg  $pF$ ). Leira krymper, men er likevel mettet med vann hele tida. Støre leirblokker kan holde seg mettet med vann til  $pF$  5. Volumet av blokken avtar under denne prosessen (krymping).

D. Vannets hastighet.



Vi har tidligere gjort rede for jordas vannkapasitet og vannets intensitet. I dette avsnittet skal vi ta for oss vannets hastighet. På figuren er  $H_1$  og  $H_2$  de hydrauliske høydene ved punktene A og B. Etter som grunnvannsnivået er ulikt på de to stedene, vil vi antagelig

automatisk gå ut fra at det vil være en vannbevegelse fra  $B \rightarrow A$ . Betingelsen for statisk likevekt var nemlig at totalpotensialet skulle være konstant. La oss se om dette er tilfelle her.

Vi har

$$H = h + z$$

Hydraulisk høyde = trykkehøyde + geometrisk høyde.

Skriver vi

$$gH = gh + gz,$$

så er vi kommet over på potensialform og dette sier oss at totalpotensialet her består av to komponenter, trykspotensialet og tyngdepotensialet. Da

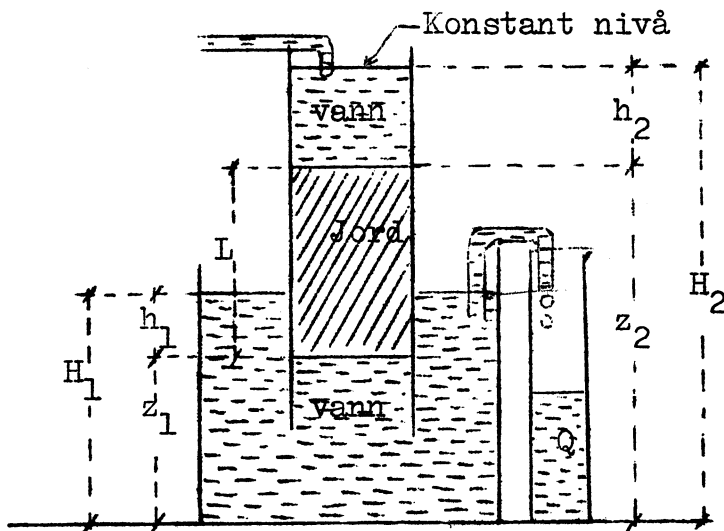
$$gH_2 > gH_1$$

vil vi ha en potensialforskjell mellom de to punktene. En viktig regel:

Vannet beveger seg alltid fra et høyere til et lågere potensial.

Darcy's lov. (Omkr. 1860).

Darcy's lov redegjør for strømming av vann i mettet jord.



Figuren viser et apparat til å måle jordas ledningsevne for vann. En jordprøve av f.eks. sandjord plasseres inne i et rør. Hvis lengden av jordprøven er  $L$  (cm), forskjellen i hydraulisk høyde ("potensialforskjellen") er  $H_2 - H_1$  (cm), den totale vann-

mengden som har passert gjennom prøven i tida  $t$  (sek) er  $Q$  (cm<sup>3</sup>), og arealet av tverrsnittet av prøven er  $A$  (cm<sup>2</sup>), kan jordas vannledningsevne,  $K$  (cm/sek) finnes etter Darcy's lov:

$$\frac{Q}{At} = v = K \cdot \frac{H_2 - H_1}{L}$$

$v$  = hastighet

$$\frac{H_2 - H_1}{L} = \text{hydraulisk gradient eller drivende kraft.}$$

Hastighet = Ledningsevne x Drivende kraft.

Dimensjoner:  $K$  ledningsevne:  $K$  cm/sek.

$\Delta H$  hydraulisk gradient: cm/cm

$v$  hastighet: cm/sek.

Darcy's lov passer best for mettete jord med forholdsvis store porer, men en har også brukt den i andre tilfelle.

En annen form av Darcy's lov er:

$$v = k \cdot \frac{\rho}{\mu} \cdot \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{L}$$

hvor  $\Phi$  = totalt vannpotensial - cm<sup>2</sup>/sek<sup>2</sup>

$v$  = hastighet - cm/sek

$k$  = permeabilitet - cm<sup>2</sup>

$\rho$  = tetthet av vann - g/cm<sup>3</sup>

$\mu$  = viskositet av vann - g/cm sek

$L$  = lengde av jordprøve - cm

Siden  $\Phi = gH$ , har vi at

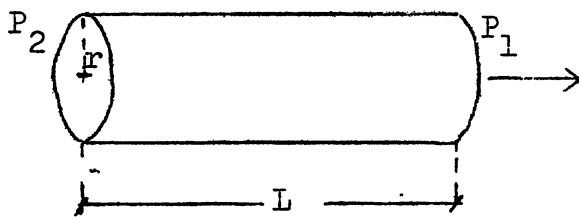
$$K = k \frac{\rho g}{\mu}$$

hvor  $g$  = tyngdeakselerasjon.



For  $k$  brukes i engelsk litteratur ordet intrinsic permeability. Det er meningen at permeabiliteten skal være en materialkonstant for jorda. Forandringer i vannets egenskaper med temperaturen kommer inn i  $\zeta$  og  $\mu$ .

Poiseuilles lov gjelder vann som strømmer gjennom kapillarrør.



$$v = \frac{Q}{At} = \frac{r^2}{\mu \cdot 8} \cdot \frac{P_2 - P_1}{L}$$

$r$  = radius av rør (cm)

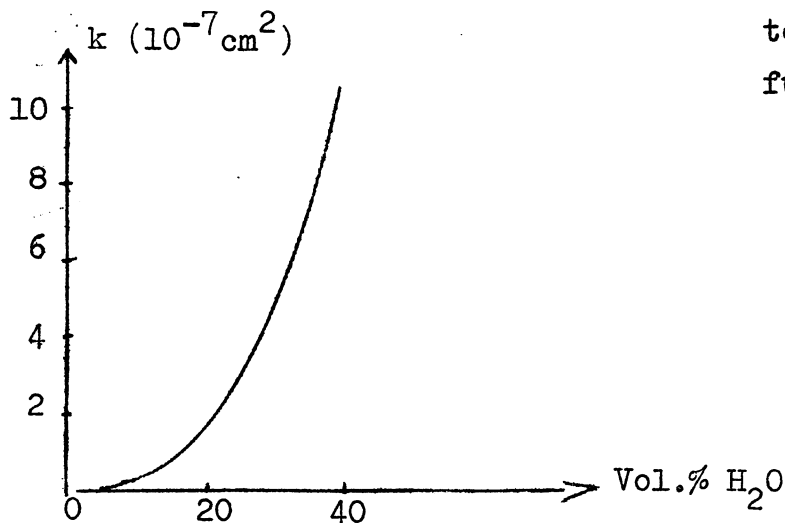
$\mu$  = viskositet (g/cm sek)

$\frac{P_2 - P_1}{L}$  = trykkgradient (g/cm<sup>2</sup> sek<sup>2</sup>)

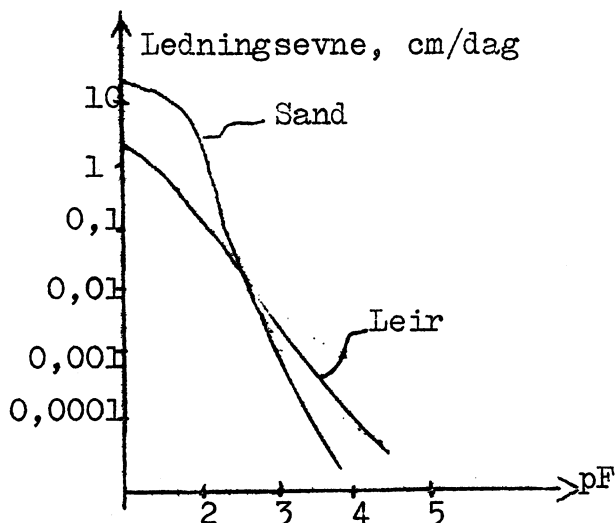
Vi ser her at hastigheten er proporsjonal med kvadratet av radien, noe som klart viser hvor stor betydning porestørrelsen har.

Jordas vannledningsevne er en funksjon av porestørrelse, poreform, virkelig lengde av porene i forhold til lengden av jordprøven, og viskositeten av vann (som tiltar mot veggene i porene).

I umettet jord er ledningsevnen en funksjon av vanninnholdet.



Figuren viser permeabiliteten av umettet sand som funksjon av vanninnholdet.

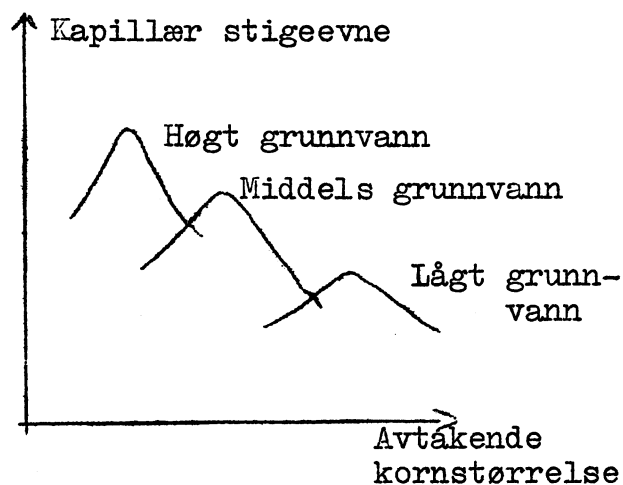


Figuren viser ledningsevnen som funksjon av pF. Da begge størrelser er plottet på log-akser, viser figuren at ved sugetrykk større enn 100 cm ( $pF > 2$ ) avtar ledningsevnen så sterkt at den er uten praktisk betydning. Vannledningsevnen i jord under grunnvannspeilet blir kalt hydraulisk ledningsevne. For jord

over grunnvannspeilet brukes uttrykket kapillær ledningsevne.

Med kapillær stigeevne menes her kapillær ledningsevne oppover i jorda. Vannbevegelse oppover kan komme i stand ved forbruk av vann som følge av evaporasjon eller transpirasjon.

1. Starter vi med metning i en jord uten plantevekst, bestemmes uttørkingen i første omgang av atmosfæriske betingelser.
2. Når overflaten tørker ut, vil fordampingshastigheten begrenses av den kapillære stigeevne.
3. Når den kapillære stigeevnen blir mindre enn fordampingshastigheten, er vanntransport i dampform mulig, men av liten betydning i åkerjord. Uttørkingen går derfor mye langsommere når de kapillære ledningsbanene blir brutt.



Den kapillære stigeevne er helt avhengig av avstanden til grunnvannsnivået, særlig i de grovkornede jordartene. Hvis grunnvannet står like under jordoverflaten, vil grov sand ha størst kapillær stigeevne. Senkes grunnvannsnivået, vil etter hvert de mer finkornede jordartene få størst kapillær

stigeevne, men den maksimale stigeevnen vil nå være mindre. Ved

Hermer N. ØS

vanlig dreneringsdybde (70-100 cm) har mjele og koppjord god kapillær stigeevne.

De fleste undersøkelser viser at plantene kan dekke bare en del av sitt vannbehov ved kapillær stigning. Planterøttene må altså søke vannet der det er å finne.

Når tørr jord utsettes for kraftig regnvær, vil vannet trenge ned langs en fuktingsfront. Hastigheten som denne fronten beveger seg med, blir kalt infiltrasjonshastigheten.

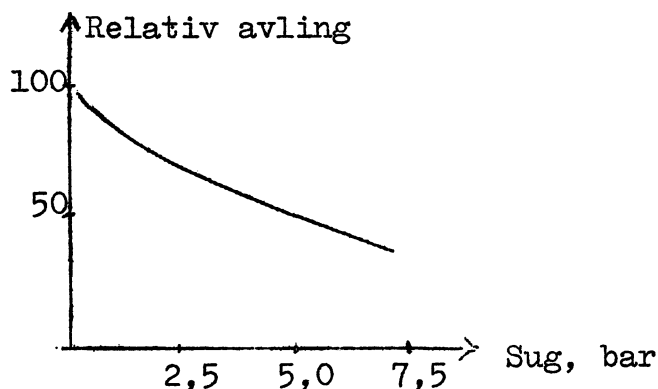
Her er noen infiltrasjonshastigheter:

Dyp sand eller aggregert grovleir	<u>1,2 - 0,8 cm/time</u>
Leirjord	<u>0,8 - 0,4 cm/time</u>
Svellende leirer (Na-leirer)	<u>&lt; 0,1 cm/time.</u>

Rundt regnet skulle altså en sandjord kunne ta inn ca. 10 mm regn pr. time. Infiltrasjonshastigheten kan settes sterkt ned av tett skorpe. I leire som er blitt klinet til ved f.eks. sliring av traktorhjulene i rå jord, kan infiltrasjonshastigheten nærme seg mot 0.

Vannet i jorda kan bævege seg i dampform. Denne formen for vanntransport er viktig omkring visnepunktet og foregår når det er damptrykkgradienter, f.eks. på grunn av forskjeller i osmotisk trykk, eller forskjeller i temperatur.

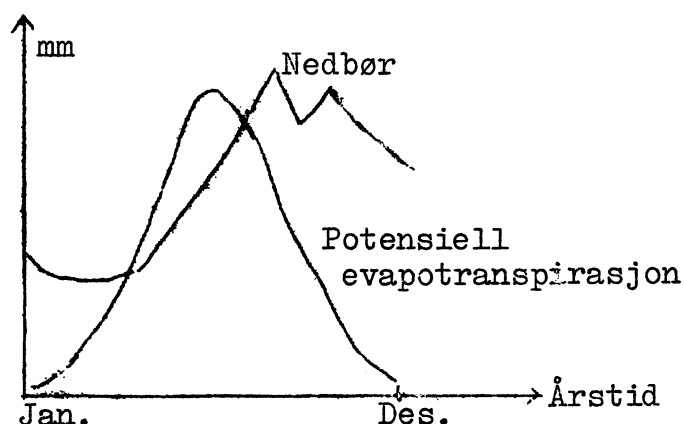
Til slutt skal bare nevnes noen resultater av forsøk med plantevekst ved ulike sugetrykk (Kristensen). Det går fram av figuren



at relativ avling (av luserne) har vært sterkt avhengig av vannets energitilstand, og at det har blitt en betraktelig nedgang i avling lenge før visnepunktet.

### E. Vannet og planteveksten.

Med potensiell evapotranspirasjon (PET) menes den mengde vann (i mm) som kan fordampe fra en jord dekket med kort vegetasjon i en viss periode, forutsatt at vanntilgangen ikke er begrensende faktor.



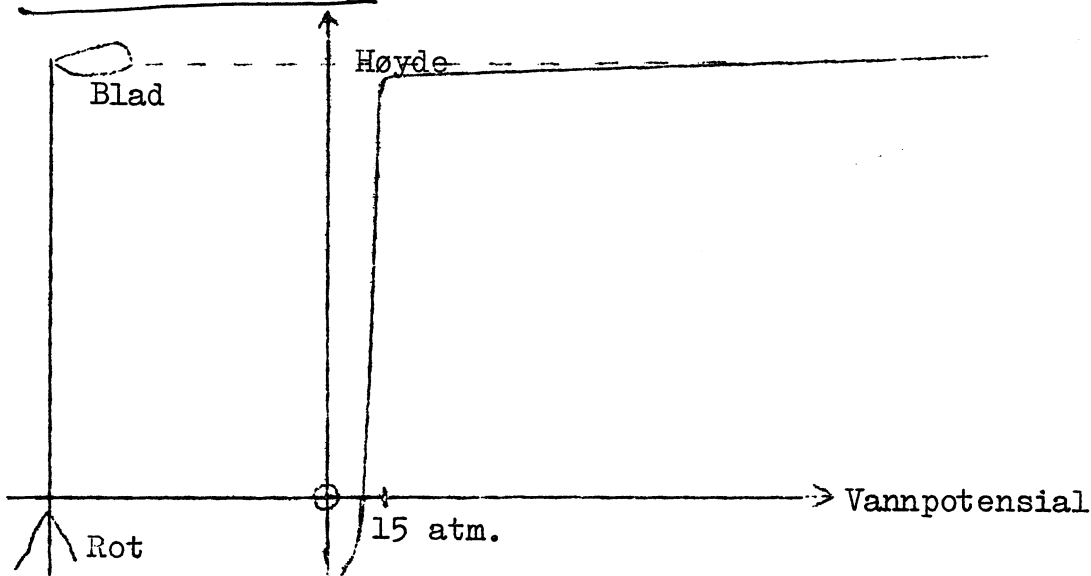
I Norge er det vanlig med forsommertørke på Østlandet. Vekster som forbruker mye vann tidlig på våren (høstkorn, gras) eller på ettersommeren (rotvekster og gras) kan utnytte klimaet godt, mens vårkorn kan få van-

skeligheter. Engvekstene er i den stilling at de har et tett rotsystem som kan utnytte vannet når det enn kommer i vekstsesongen. For vårkornet er det viktig med en god start, det vil si at jordarbeiding, gjødsling og såing må ta sikte på å skape optimale forhold for en rask spiring og etablering av et tett rotsystem før tørken setter inn.

Plantene har i enkelte forsøk gitt avlinger som står i forhold til vannets bindingsenergi (potensial). Bl.a. har Kristensen i Danmark påvist avtagende luserneavling ved stigende sug. Det fins andre, f.eks. Veihmeyer & Hendrickson, som hevder at mellom visnepunkt og feltkapasitet er alt vann like lett tilgjengelig for plantene. Deres forsøk har vært utført med citrus-trær, og det kan derfor reises spørsmål om hvor vannpotensialet er målt i jorda. Et ganske interessant resultat ble oppnådd av Danielson og Russell, som fikk bedre vekst ved et visst osmotisk potensial enn ved samme kapillærpotensial. Her må årsaken være at vannet har vært til stede i så stor mengde at transport-hastigheten ikke har blitt nedsatt hvor det osmotiske potensialet hadde en høy tallverdi. Ved tilsvarende tallverdi av kapillærpotensialet var det etter alt å dømme så lite vann igjen i jorda,

at den kapillære ledningsevnen ble sterkt nedsatt.

Philip har ut fra en ren energibetraktning kommet til at den delen av det totale potensialfallet som skyldes jorda er uhyre liten, hvis vi har en vanlig sommerdag med forholdsvis låg relativ luftfuktighet.



Det virkelig store potensialfallet har vi i overgangen flytende-gass av  $H_2O$ , og denne overgangen skjer i spalteåpningene. Da plantene vanligvis visner ved et sug på 15 atmosfærer i jorda, kan det være interessant å se på det totale suget vannet utsettes for på sin vei gjennom planten. Tar vi et ekstremt eksempel, har vi at ved  $20^{\circ}C$  og 10% relativ luftfuktighet er suget over 2000 atmosfærer. Storparten av vanntransporten gjennom plantene er passiv. Vi kan lage oss et bilde av fordampingsprosessen ved å tenke oss at planten er et rør og at det trekkes et tau opp gjennom dette røret. Så lenge jorda greier å levere nok vann - det vil si så lenge røttene kan ta opp nok, ryker ikke tauet. Men når leveringen blir for liten, ryker tauet der på - kjenningen er størst - i spalteåpningene.

Betydningen av jorda som vannleverandør viser seg først når det er for lite vann til å holde transpirasjonsstrømmen igang. Transpirasjonen har ellers lett for å ta seg opp raskt når det på ny er leveringsmuligheter for vann. Fotosyntesen kan derimot bli liggende etter, sjøl om spalteåpningene åpner seg på nytt.

Det aktive vannopptaket skyldes i første rekke osmotiske prosesser. Eksempler er guttasjon og utstrømninger fra avhogde greiner, trestammer, etc.

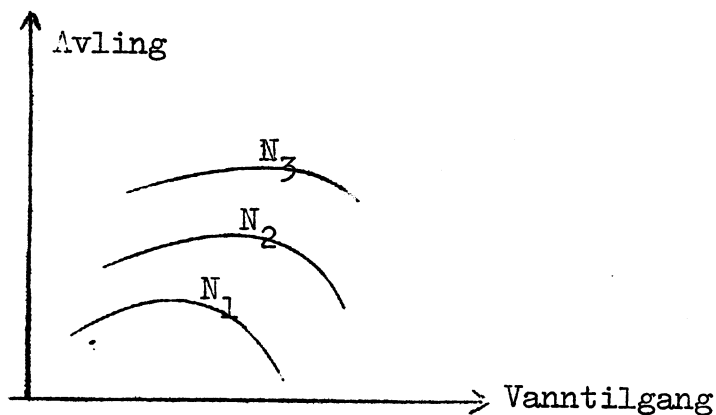
Til slutt må det nevnes at også gjødslingen har betydning for utnyttningen av jordvannet. I et karforsøk ved Institutt for jordkultur fikk en følgende avlinger i g bygglo pr. kar ved ulik vanntilgang og N-gjødsling.

	Svak N-gjødsling	Sterk N-gjødsling
Liten vanntilgang	16,7	34,1
Rikelig vanntilgang	11,2	37,8

Vannforbruket i liter pr. g produsert masse var:

	Svak N-gjødsling	Sterk N-gjødsling
Liten vanntilgang	0,57	0,35
Rikelig vanntilgang	0,69	0,28

Det kan være fristende å sette opp en teoretisk kurve for forholdet mellom avling, vanntilgang og N-gjødsling.



Forutsetning for dette kurveforløpet er at det vannes opp til feltkapasitet etter ulik sterk uttørring. Ved liten N-tilgang i jord med tett struktur, vil det lett bli for lange tider med dårlig

luftveksling, og rikelig vanntilgang kan derfor virke mer skadelig her enn ved sterk N-gjødsling og tilsvarende rask tømning av de store porene.

H.C. Aslyng har hevdet at vannfaktoren i jord bare har betydning for avlingene så lenge evapotranspirasjonen er mindre enn den potensielle.

## VI. Lufta i jorda.

### A. Kapasitet.

#### 1. Generelle merknader.

Jordlufta er en gassblanding. De viktigste bestanddeler er  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$ . Kapasitetsbegrepet blir noe vanskeligere her enn for vannet i jorda. Alle gassene kan fylle hele luftvolumet i jorda, enten de er alene eller i blanding. Derfor har det interesse å vite volumet av jordlufta i prosent av hele jordvolumet. Generelt har vi:

$$\text{Luftvolum} = \text{Porevolum} - \text{Vannvolum.}$$

Jordas aktuelle luftinnhold er volumprosent luft ved et gitt tidspunkt.

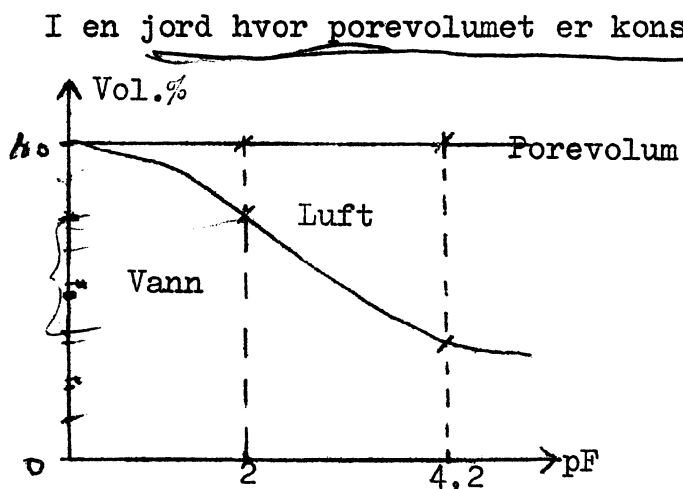
Luftkapasitet er luftvolumet ved feltkapasitet. Da feltkapasiteten er et uttrykk for vanninnholdet ved statisk likevekt med et gitt 0-nivå, er det av stor betydning hvor dette 0-nivået befinner seg. Grunnvannsspeilet er en fri vannflate, hvor det hydrostatiske trykket er lik atmosfæretrykket. I en sandjord vil grøftedybden påvirke grunnvannsspeilet sterkt. I en leirjord kan vi ikke uten videre gå ut fra at grøftedybden har noen avgjørende betydning for avstanden til grunnvannsspeilet. I grøfta kan grunnvannsspeilet ligge i en avstand fra overflaten = grøftedybden. I den urørte undergrunnen mellom grøftene er porene så små, og transporthastigheten for vannet så liten, at det kan ta uhyre lang tid før det innstiller seg noen likevekt, bortsett fra de største sprekke. Matjordlaget i en leirjord vil derfor i mange tilfelle ha en luftkapasitet som er bestemt av vanninnholdet ved en avstand til et temporært grunnvannsspeil i bunnen av ploglaget. Dette er stort sett samme luftkapasitet som vi må regne med for kar eller banker i veksthus. I undergrunnen i leirjord kan luftinnholdet være i nærheten av 0 sjøl ved visnepunktet fordi leira kan krympe i volum med avtakende vanninnhold. Gjennomluftingen i leirjord kan være helt bestemt av de sprekkdannelser vi har fått som følge av vekslinger i fuktighetsforholdene. Disse vekslingene kommer

i stand ved plantevekst, frost-opptining, tørkeperioder.  
 Hvis plantene ellers har optimale forhold, må vi regne med at sjansen for rotutvikling i djupere lag er gode i leirjord. Så lenge leira er forholdsvis fuktig, kan sprekkene danne veier for røttene, og da en kraftig plantevekst er ensbetydende med et raskt opptak og forbruk av vann, vil det komme luft inn i de store porene. De store vannreservene i leirjord kan bare komme til nytte hvis luftvekslingen i de dypere lagene er god nok.

Da vann og luft fyller porene i jorda, vil summen av dem alltid være lik porevolumet. Ved samme bindingsenergi for vannet, vil det være stor forskjell mellom de luftfylte porevolumene i ulike jord. Noen tall fra Institutt for jordkultur viser at det også kan være stor forskjell innen samme jord hvis aggregat-størrelsen varierer:

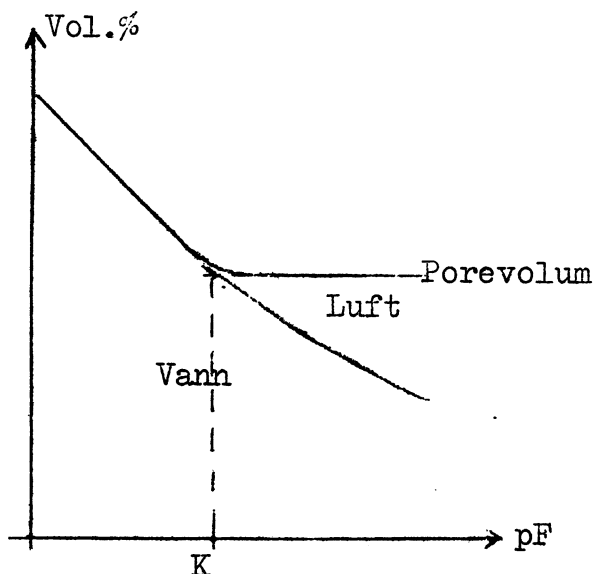
Aggregatfordeling	Porevolum	Vannvolum <sup>(x)</sup>	Luftvolum <sup>(x)</sup>
100 % > 20 mm	71,5	38,0	33,5
" 20- 6 mm	69,5	39,0	30,5
" 6- 2 mm	69,7	41,9	27,8
" 2-0,6 mm	70,0	48,6	21,4
" < 0,6 mm	68,8	52,5	16,3
50% > 6 mm, 50% < 6 mm	51,7	44,7	7,0

(<sup>x</sup> Ved  $pF = 1,3$  (20 cm v.h.)



vil vi få et bestemt luftvolum for hver verdi av vannpotensialet (ut-tørkingskurve). Vi kan her snakke om luftkapasitet ved et bestemt vannpotensial, eks. luftkapasitet ved  $pF$  4,2.





For en undergrunnsleire er ikke porevolumet noen konstant, men kan varierte med vanninnholdet inntil krympegrensen som kan ligge ved høyere pF enn 4,2. Her kan altså det merkelige inntreffe at jorda er mettet med vann ved visnepunktet.

## 2. Jordlufta og atmosfæren.

- Relativ fuktighet i jordlufta 98,8 - 100,0 % ved vanninnhold større enn visnepunktet.
- CO<sub>2</sub>-innhold i jordlufta 5 - 100 ganger større enn i atmosfæren. CO<sub>2</sub>-innholdet øker vanligvis med dybde. I rotsonen er CO<sub>2</sub>-innholdet høgest sent på våren. Ofte er det en ny topp tidlig på høsten.

I matjordlaget vil CO<sub>2</sub>-innholdet stort sett svinge mellom 0,15% og 3,0%, mens O<sub>2</sub>-innholdet vil svinge mellom 18,0 og 21,0%. I større dybde kan O<sub>2</sub>-innholdet gå ned mot 0, særlig på stivere jord. I rotsonen er CO<sub>2</sub>-innholdet høgest tidlig på sommeren (sent på våren). Det kan også være en topp om høsten.

## 3. Prosesser som fører til forandringer i sammensetningen av jordlufta:

- Prosesser som øker forskjellen mellom jordluft og atmosfære.

Under dette punktet kommer i første rekke åndingen:  $(\text{CH}_2\text{O})_x + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Vi har her et forbruk av O<sub>2</sub> og en produksjon av CO<sub>2</sub>.

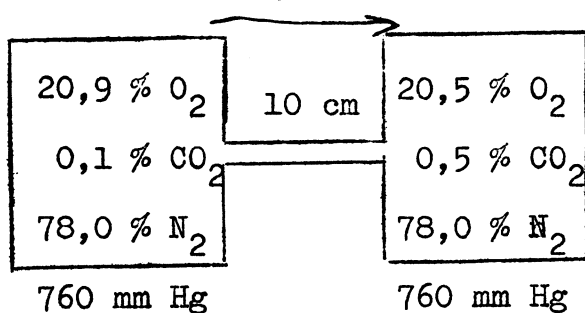
- Prosesser som fører til luftveksling. (Transportprosesser.)

Masse-strømning skyldes en total trykk-gradient som følge av

forandringer i barometertrykk og temperatur ( $pV/T) = R$ , utskyl-  
ling av jordlufta etter regn, ved grunnvannsbevegelser og  
endelig vind langs overflaten. Tilsammen vil ikke mer enn ca.  
10% av den totale luftvekslingen skyldes masse-strømning.

### Molekylær diffusjon.

Med diffusjon menes en prosess som prøver å utligne fysiske tilstander. I dette tilfelle veksles ikke hele jordluftvolumet, men de enkelte gasser,  $CO_2$  og  $O_2$ .  $N_2$ -innholdet vil sannsynligvis holde seg noenlunde konstant på ca. 78%.



På figuren er vist et tilfelle hvor vi vil få molekylær diffusjon. Det totale trykket er det samme på begge steder, men de partielle trykkene er ulike. Hvis vi som eksempel regner at det prosentiske innholdet er

et mål for partialtrykket, har vi:

$$\text{gradient } O_2 : \frac{20,9 - 20,5}{10} = \frac{0,4}{10} = 0,04$$

$$\text{gradient } CO_2 : \frac{0,5 - 0,1}{10} = \frac{0,4}{10} = 0,04$$

$$\text{gradient } N_2 : \frac{78,0 - 78,0}{10} = \frac{0}{10} = 0$$

Det er her egentlig forutsatt at  $O_2$ - og  $CO_2$ -molekyler beveger seg like fort. Luftvekslingshastigheten er proporsjonal med den partielle trykk-gradienten.

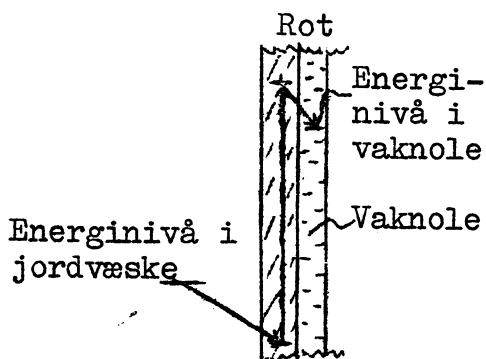
#### 4. Sammensetning av jordluft og oksydasjonsnivå av joner.

Element	Oksydert	Redusert (for det meste lettløselig)
C	$CO_2$	$CH_4$
S	$SO_4^{--}$	$H_2S$
Fe	$Fe^{+++}$	$Fe^{++}$
Mn	$Mn^{++++}$	$Mn^{++}$
N	$NO_3^-$	$NO_2^-, NH_4^+, NH_3, N_2$

Undergrunnsjord med god luftveksling har ofte rødaktig farge. mens jord med dårlig luftveksling har en grønnlig-blålig farge- tone. Dette skyldes i mange tilfelle oksydasjon - reduksjon av bl.a. jernforbindelser.

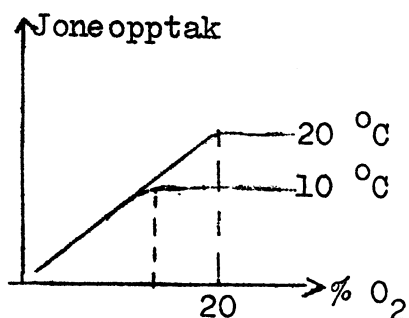
## 5. Sammensetning av jordluft - plantevekst.

### a. Joneopptak.

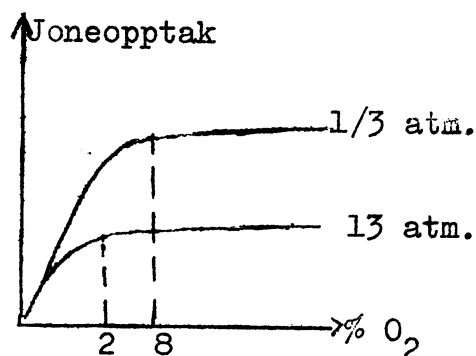


Da joner kan tas opp mot en konsen-<sup>?</sup> trasjonsgradient, vil dette si at det må være et eller annet ledd i kje- den hvor energinivået blir hevet ved hjelp av en stoffskifteprosess, i dette tilfelle ånding. En nyttig sammenligning er et elevatorbelte

som må tilføres energi for å holdes i gang. Enzymenes rolle er å være katalysatorer for den energikrevende prosessen. Med enzymer er aktiveringsenergien lågere enn uten dem.



Joneopptaket er avhengig både av O<sub>2</sub>- innhold i jordlufta og av temperaturen. Ved høgere temperatur kreves det mer surstoff hvis ikke oxygen-innholdet skal være den begrensende faktoren.



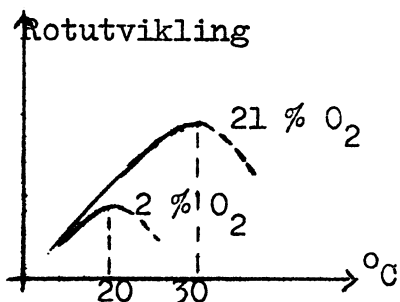
Danielson har vist at ved høgere vanninnhold kreves det mer oxygen, for at ikke oxygeninnholdet skal være den begrensende faktor for joneopptaket. Ser vi

på forholdet til vann, temperatur og oxygen (i jordlufta), er det tydelig at vi har et samspill, slik at virkningen av hver faktor beror på de andre faktorene.

### b. Rotutvikling.

Røtter som vokser i jord hvor det er nok oxygen er lange, tynne og har et ungt, friskt utseende (lys farge).

Røtter som vokser under liten oxygentilgang, er tykke, korte og ser eldre ut.



Rotutvikling krever energi (Cannon), og siden oxygen er nødvendig ved energikapende prosesser i plantene, vil O<sub>2</sub>-mangel føre til ingen eller dårlig rotutvikling. I vassjuk jord er det vanligvis svært dårlig rotutvikling,

fordi det mangler oxygen. Gulrøtter som i løs, luftig jord har rød farge, sylinderform, og er lange, vil i vassjuk jord bli klorotiske, med kjegleform og få røttene oppover opplagsorganene.

### c. Vannopptak.

For mye CO<sub>2</sub> senker opptaket av det vannet som er lettest å ta opp. Opptaket blir satt mer tilbake av for mye CO<sub>2</sub> enn av for mye N<sub>2</sub>. Vannopptaket ved høyere pF kan settes tilbake ved at permeabiliteten av røttene blir redusert av for mye CO<sub>2</sub>.

Planter i vassjuk jord kan faktisk dø av tørke.

### d. Spiring.

Spiringen kan settes ned av oxygenmangel, f.eks. om det er mye vann i jorda. Anaerobisk respirasjon kan føre til at det produseres aldehyder som kan redusere den aerobiske respirasjonen. Erter er særlig følsomme for dette forholdet.

### B. Intensitet.

Et mål for intensitet med hensyn til jordluft er forholdet mellom oksydert og redusert tilstand for joner, eksempelvis  $\frac{Fe^{+++}}{Fe^{++}}$ .

Redoxpotensialet er et mål for intensiteten, men da det ofte er mange slags joner i jorda, kan vi få vanskeligheter med å vurdere resultater av redoxpotensialmålinger.

Titreringskurver svarer på mange måter til kapasitets-intensitetskurver for vann. På den ene akse kan vi ha redoxpotensial, på den andre akse mengde av oksyderende stoff.

### C. Hastighet.

Det ble nevnt tidligere at molekylær diffusjon er den viktigste prosess for gassveksling.

Diffusjonsligning:

$$\frac{Q}{At} = q = \frac{1}{\beta} \cdot D \cdot \frac{P_2 - P_1}{L}$$

hvor  $Q =$  antall  $\text{cm}^3 \text{O}_2$ , som har blitt utvekslet med  $\text{CO}_2$  i tida  $t$  (sek)

$A =$  tverrsnitt ( $\text{cm}^2$ )

$D =$  diffusjonskonstant ( $\text{cm}^2/\text{sek}$ )

$\frac{P_2 - P_1}{L} =$  partiell trykkgradient.

$\frac{1}{\beta} =$  proporsjonalitetsfaktor.

Det har vist seg at diffusjonskonstanten er proporsjonal med det luftfylte porevolumet,  $L V$ .

$$D = D_0 \cdot 0,6 \cdot L V$$

hvor  $D_0$  er diffusjonskonstanten for  $\text{O}_2$  i luft. Denne formelen gjelder naturligvis bare hvor det er frie transportveier. For luft som er sperret av vannfilmer, f.eks. ved skorpe, gjelder ikke funksjonen ovenfor. Det er en veldig nedgang i diffusjonshastigheten hvis porene i jorda blir sperret av vann.

$$\frac{D_{\text{O}_2 - \text{luft}}}{D_{\text{O}_2 - \text{vann}}} > 10000$$

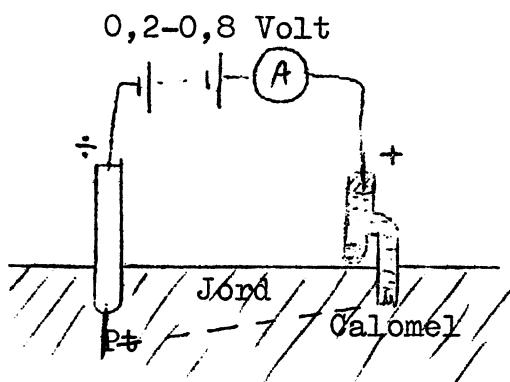
En stor fare ved tette lag i eller under overflaten er sannsynligvis at det fins vannfilmer som hindrer den molekylære diffusjonen. Etter hardt regn om våren dannes det skorpe på enkelte slags jord. Ved sterk temperaturstigning etterpå vil det bli en

økning i den biologiske virksomheten i jorda, det utskilles mye CO<sub>2</sub> og da det fins vannfilmer som hindrer diffusjonen, vil det fort bli for lite surstoff i jordlufta.

I leire som er tett til store dybder, betyr en løsning av overflaten en forholdsvis liten forbedring av luftvekslingen i dypere lag, fordi det er vannfilmer som fungerer som sperresjikt lenger nede.

Romell har hevdet at hvis en forutsetter en CO<sub>2</sub>-produksjon på 7 l pr. m<sup>2</sup> pr. dag måtte lufta i de øvre 20 cm av jorda fornyes hver time for å vedlikeholde en normal sammensetning.

Til å måle diffusjonen kan en bruke en platinaelektrode (Lemon & Ericksson) forbundet i serie med en spenningskilde, et mikroamperemeter og en calomelelektrode.

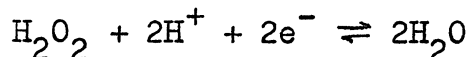
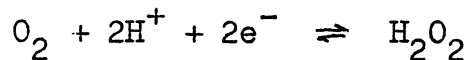


Måler 9

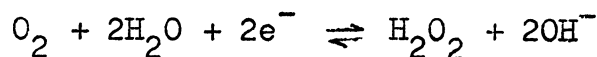
Platinaelektroden "imiterer" en planterot.

Reaksjoner ved Pt-elektroden:

a) surt miljø:



b) alkalisk miljø:



I forbindelse med plantevekst og surstoff i jordlufta kan nevnes at Arnon fant at veksten av byggplanter kunne begrenses av dårlig luftveksling ved gjødsling med NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-gjødsel, men ikke ved gjødsling med NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-gjødsel. Dette skulle tyde på at det i visse tilfelle kan forekomme såkalt nitrat-respirasjon.

Gulning av byggåker ved rotskiftet er satt i samband med dårlig luftveksling. Denne gulningen har ellers vist seg på jord som er pakket eller arbeidd i våt tilstand. I enkelte tilfelle har det sett ut til at salpetergjødsling kan hjelpe mot gulningen.

VII. Varmeforhold i jorda.

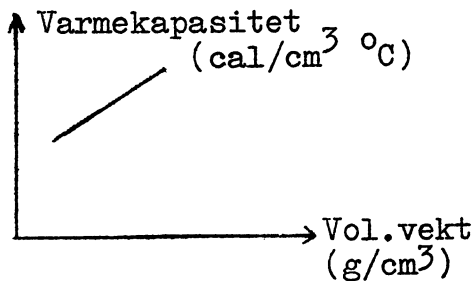
Kapasitet (egenvarme cal/cm<sup>3</sup> °C)

Intensitet (temperatur °C)

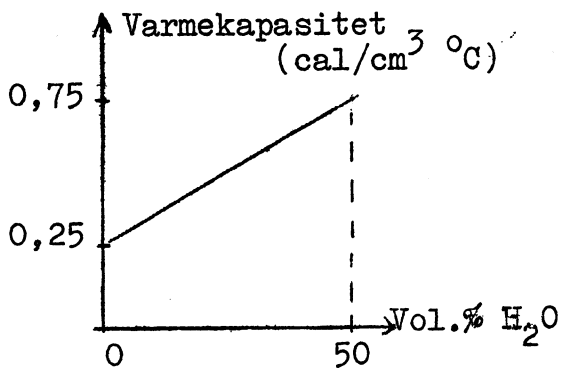
Hastighet (varmeledningsevne cal/cm sek °C)

A. Kapasitet.

Mineralpartikler	0,5	cal/cm <sup>3</sup> °C
Is	0,45	-"-
Vann	1,0	-"-
Luft	0,0003	-"-



En økning i volumvekt fører til mer fast stoff pr. volumenhet, d.v.s. mindre luft pr. volumenhet.



Ved 50% porevolum kan vi ha en avhengighet mellom varmekapasitet og vanninnhold som vist på figuren. Innholdet av vann er svært viktig, da vannet har så stor varmekapasitet.

La oss se på en jord med 50% porevolum og varierende innhold av vann. Pr. cm<sup>3</sup> trengs det følgende energimengder for å varme opp jorda 1 grad:

a) 0% vann, 50% luft, 50% fast stoff.

Fast stoff:	0,5 · 0,5	=	0,25	cal
Luft:	0,0003 · 0,5	=	<u>0,00015</u>	"
Sum			<u>0,25</u>	cal

b) 50% vann, 0% luft, 50% fast stoff.

Fast stoff:	0,5 · 0,5	=	0,25	cal
Vann:	1,0 · 0,5	=	<u>0,50</u>	"
Sum			<u>0,75</u>	cal

En vassjuk jord er altså en kald jord, fordi det går med store mengder av energi ved oppvarming.

B. Intensitet = jordtemperatur.

Overflatetemperatur bestemmes av:

1.  $R_i$  = Innkommende energi, som igjen er avhengig av:

- a. Breddegrad
- b. Helling av terrenget
- c. Høyde over havet.

2.  $R_k$  = Refleksjon. Et viktig begrep er albedo eller den diffuse refleksjon i prosent av synlig lys.

<u>Stoff</u>	<u>albedo</u>
Snødekke	40 - 85 %
Eng	15 - 30 %
Sand, tørr	18 %
Sand, våt	9 %
Havoverflate	8 - 10 %
<u>Svart tøy</u>	<u>1 %</u>

3.  $R_l$  = Utgående stråling. Mens vi hittil har snakket om kortbølget stråling, vil den utgående strålingen fra jorda være langbølget.

Utstrålt energi =  $k \cdot T^4$  (Stephans lov)

hvor  $T$  = overflatetemp. i °Kelvin.

4.  $R_n$  = Netto innstråling =  $R_i - R_k - R_l$ .

5.  $R_n = S + E + A + P$

hvor  $S$  = energi til oppvarming av jord

$A$  = " " " " luft

$E$  = " " evaporasjon

$P$  = " " fotosyntese (liten)

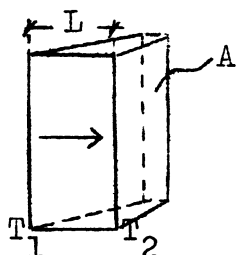


Når det gjelder jordtemperaturen i en gitt dybde, er den avhengig av:

1. Energi mottatt på overflaten.
2. Varmeegenskaper ved jorda.
  - a) Varmekapasitet.
  - b) Varmeledningsevnen.

C. Hastighet.

Jordas varmeledningsevne.



Hvis  $T_1 > T_2$  vil varmestrømmen gå mot høyre på figuren.

Fourier's lov:

$$\frac{Q}{At} = q = K \cdot \frac{T_1 - T_2}{L}$$

Her er Q det antall calorier som passerer et tverrsnitt A ( $\text{cm}^2$ ) i tiden t (sek).

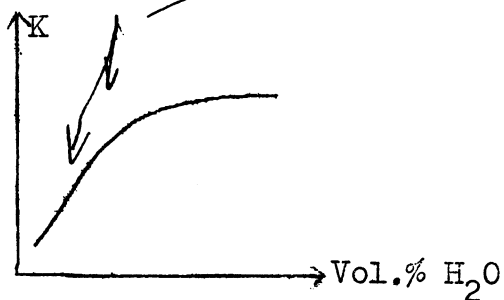
K = varmeledningsevne ( $\text{cal/cm sek } ^\circ\text{C}$ )

$\frac{T_1 - T_2}{L}$  = temperaturgradient ( $^\circ\text{C/cm}$ )

<u>Stoff</u>	<u>K (cal/cm sek <math>^\circ\text{C}</math>)</u>
Vann	$15,0 \cdot 10^{-4}$
Luft	$0,5 \cdot 10^{-4}$
Granitt	$110,0 \cdot 10^{-4}$
<u>Is</u>	<u><math>55,0 \cdot 10^{-4}</math></u>

Som vi ser av tabellen ovenfor, har lufta liten varmeledningsevne, mens vannet har forholdsvis stor varmeledningsevne. I jorda stiger derfor varmeledningsevnen med vanninnholdet, forutsatt samme volumvekt.

*Større kontakflate.*



Varmeledningsevnen stiger også med volumvekt, forutsatt samme vanninnhold.

Et viktig spørsmål er hvordan temperaturforandringer pr. tidsenhet (oppvarming, avkjøling) er avhengig av andre størrelser. Oppvarmingsfunksjonen kan skrives slik:

$$\frac{dT}{dt} = \left[ \frac{K}{c_v} \right] \cdot \frac{d^2T}{dx^2}$$

*diffusivitet  $\text{cm}^2/\text{s}$*

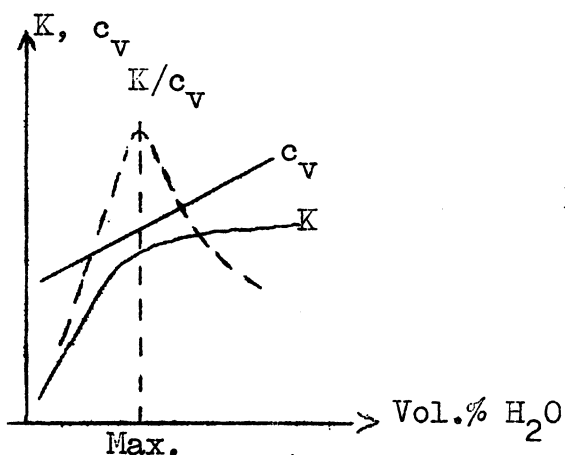
hvor T = temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

t = tid (sek)

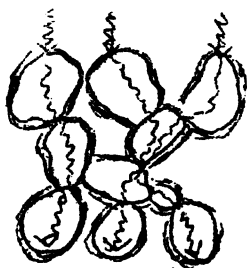
K = varmeledningsevne ( $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{sek} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ )

$c_v$  = varmekapasitet på volumbasis ( $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ )

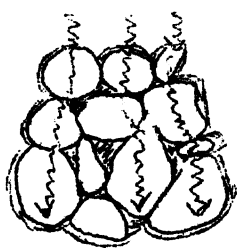
x = koordinat (cm)



Oppvarmingen (Avkjølingen) eller forandringen i temperatur med tid er proporsjonal med varmeledningsevnen, men omvendt proporsjonal med varmekapasiteten.



Ikke pakket



Pakket

Vi ser av figuren at  $K/c_v$  har et maksimum ved en bestemt fuktighet. Tromling vil påvirke både K og  $c_v$  ved at volumvekten blir større og luftinnholdet mindre. Det kan derfor føre til at jorda varmes raskere opp om våren.

Varmeegenskaper for ulike materialer (Geiger).

Materiale	Egenvarme $c_v$ (cal/cm <sup>3</sup> °C)	Ledningsevne K (cal/cm sek °C)	Diffusivitet $K/c_v$ (cm <sup>2</sup> /sek <sup>2</sup> )
Jern	0,85	$1600 \cdot 10^{-4}$	$1900 \cdot 10^{-4}$
Granitt	0,52	$110 \cdot 10^{-4}$	$210 \cdot 10^{-4}$
Is	0,45	$55 \cdot 10^{-4}$	$120 \cdot 10^{-4}$
Fuktig (Våt) sandjord	0,40	$40 \cdot 10^{-4}$	$100 \cdot 10^{-4}$
Tørr sandjord	0,30	$4 \cdot 10^{-4}$	$13 \cdot 10^{-4}$
Våt marskjord	0,70	$20 \cdot 10^{-4}$	$30 \cdot 10^{-4}$
Lite omd. myr (tørr)	0,1	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-4}$
Humus	0,57	$30 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$
Stille vann	1,0	$15 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-4}$
Stille luft	0,0003	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$1610 \cdot 10^{-4}$
Snø		$15 \cdot 10^{-5} - 17 \cdot 10^{-4}$	

Da  $K/c_v$  er uttrykk for hvor lett stoffene varmes opp, vil en se at jord med stort steininhold trenger kort tid til oppvarming, likedan vil våt jord varmes opp fortere enn tørr jord (til et visst punkt, jfr. tidligere figur).

evap.      Ref. (albedo)  
 Glas  
 Plast  
 Asfalt  
 Halm

*Fattig i vann og luft - evap. = 100%*

#### D. Frost og tele.

Grovt regnet kan en si at frosten i jord virker på følgende måte:

1. 9 % økning i vannets volum ved frysing. Hvis ikke vann skal fryse ved  $-10^{\circ}\text{C}$ , kreves et mottrykk på ca. 1150 atmosfærer. Denne sprengvirkningen er viktig for smuldring av leirjorda.

#### 2. Vekst av iskrystaller - dannelse av islinser.

Homogen frost, det vil si en noenlunde jamn fordeling av iskrystaller i jorda - forekommer vanligvis i grov sand med forholdsvis stor avstand til grunnvannet. I finere sand og grovleir dannes plane islinser vinkelrett på den retningen varmen går ut (eller kulda går inn). I leire dannes den såkalte polyederstruktur. Dette skyldes at det er så stor forskjell mellom porene - på den ene siden sprekker, på den andre siden svært fine porer. Islinsene dannes her i de store sprekke-

Ved langsom frysing dannes store iskrystaller, og dermed tykke islinser. Ved hurtig frysing får vi små krystaller.

#### 3. Uttørking mellom islinsene.

Islinsene er forbrukssteder for vann, og dermed blir jorda mellom linsene tørket ut.

Ser vi på dannelsen av horisontale islinser, må det være et visst forhold mellom varmestrøm ut av jorda og vanntilførsel til frysestedet. Dette sier oss at både den kapillære ledningsevnen og varmeledningsevnen er av betydning.

Hvis varmetapet er så stort at jorda tørker raskt ut omkring islinsen, vil det dannes en ny frysesone lenger nede, hvor vanntilførselen er stor nok. Er varmetapet mindre, kan den kapillære ledningsevnen være stor nok til å dekke vannforbruket ved frysning gjennom et lengre tidsrom, og det dannes tjukkere linser.

#### 4. Tele.

a. Telehiving er av betydning i jorder som har god kapillær ledningsevne (stigeevne) ved vanlig dreneringsdybde. Av slike jorder har vi mjelejorda på Romerike og koppjorda i Solør. Koppjord fryser opp i "kopper" -- derav navnet.

Ved veibygging er det viktig å unngå telehiving. Følgende rådgjerd er kan være aktuelle for å påvirke kapillær vannledningsevne og varmeledningsevne for å unngå eller minske telehiving:

1. Senke grunnvannsnivået.
2. Fylle på kult eller annet svært grovt materiale over grunnvannsnivået. (Her må vanntransporten foregå i dampform.)
3. Fylle på et tettpakket lag med stiv leire over grunnvannsnivået.
4. Legge et varmeisolerende lag (torv etc.) over grunnvannsnivået.

Av hensyn til telehiving er det stort sett både best og billigst å bygge veien opp over terrenget, istedenfor å grave ned i et trau, hvor vannet strømmer til og gir rask etterfylling ved frysing.

b. Telehastighet. Andersson har undersøkt hvilke størrelser som virker inn på telehastigheten, d.v.s. den hastigheten telen trenger ned i jorda med. Han har kommet fram til følgende formel:

$$v = \frac{dz}{dt} = 1,25 \frac{K_t}{w} \left( \frac{m}{z + ns} - a \right)$$

hvor v = telehastighet

z = dybde av frosset jord

t = tid

$K_t$  = varmeledningsevne for frosset jord

w = vanninnhold i vol.pst.

-T = -temperatur, °C, i overkant snølag  
(T blir altså like mange +°C)

n =  $K_t/K_s$  (1,8 & n < 20, i middel ca. 10)

$$\frac{1}{K_s} = \frac{K_t}{K_s} \cdot \frac{1}{K_t}$$

$K_s$  = varmeledningsevne for snø

$s$  = snødybde

$a$  = temperaturgradient under telefront °C/cm

Uttrykket  $1,25 \cdot \frac{K_t}{w}$  kaller Andersson telehastighetskoeffisienten. Vi ser at telehastigheten er proporsjonal med varmeledningsevnen i frosset jord, og omvendt proporsjonal med vanninnholdet.

Uttrykket  $z + ns$  gir oss den "effektive teledybden". Her ser vi at snølagets tykkelse spiller en stor rolle, da  $n$  i middel er ca. 10. Et forholdsvis tynt snødekke vil derfor redusere telehastigheten sterkt.

Hvis vi ikke har noe snødekke og ingen temperaturgradient under telefronten, får vi:

$$v = 1,25 \cdot \frac{K_t}{w} \cdot \frac{T}{z}$$

Dette viser at under ellers like forhold, avtar telehastigheten med teledybden og at den øker med minustemperaturen på jordoverflaten.

Til slutt et eksempel på utregning:

$$K_t = 3 \cdot 10^{-3} \text{ cal/cm sek } ^\circ\text{C}$$

$$w = 30 \text{ vol. } \%$$

$$s = 20 \text{ cm}$$

$$-T = -25 \text{ } ^\circ\text{C} \quad ): \quad T = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$z = 50 \text{ cm}$$

$$a = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C/cm} \quad , \quad n = 10$$

$$v = 1,25 \cdot \frac{0,003}{30} \left( \frac{25}{50 + 10 \cdot 20} - 0,05 \right)$$

$$v = 1,25 \cdot 10^{-4} (0,10 - 0,05) = 1,25 \cdot 0,05 \cdot 10^{-4} \text{ cm/sek}$$

$$\underline{v = 0,54 \text{ cm/døgn}}$$

For at  $v = 0$  kreves

$$\frac{T}{z+ns} - a = 0$$

$$a(z+ns) = T$$

$$ns = \frac{T}{a} - z$$

$$s = \frac{1}{n} \left( \frac{T}{a} - z \right)$$

Eks.: som ovenfor (s ukjent)

$$s = \frac{1}{10} \left( \frac{25}{0,05} - 50 \right) = \frac{1}{10} \cdot 450 = \underline{45 \text{ cm}}$$

### E. Inngrep i varmemusholdningen.

#### 1. Innstrålt nettoenergi - $R_n$

$$\underline{R_n = R_i - R_k - R_l}$$

Her kan en påvirke jordtemperaturen ved forming av terrenget ( $R_i$ ), ved å påvirke jordas albedo (farge, fuktighet, vegetasjonsdekke på overflaten ( $R_k$ )) og hindre en del av den utgående stråling ved dekking av jorder med glass, klar plast, gjennomskinnelig papir, etc. ( $R_l$ ).

Tenker vi på hva nettoenergien brukes til, har vi

$$\underline{R_n = S + E + A + P}$$

S = energi til oppvarming av jord

E = energi til evaporasjon

A = energi til oppvarming av luft

P = energi til fotosyntese

Hvis mest mulig energi skal gå til oppvarming av jorda, er det gunstig å holde varmetapet til evaporasjon og luftoppvarming nede. Dette kan gjøres ved bl.a. mulching. Mulch er et stoff som lar vannet passere i dampform, men ikke som kapillært ledningsvann. Da også massestrømming av luft kan nedsettes av visse typer mulch blir vindhastigheten av liten betydning for varmetapet. For å få den fulle oversikten over hvordan kulturinngrep kan virke på jordtemperaturen, er det nødvendig å ha i minne både den innstrålte nettoenergien og hva den brukes til.

Tar vi et stoff som glass, har det følgende virkninger:

a. Nedsatt utstrålingstap.

b. Nedsatt varmetap til evaporasjon.

c. Nedsatt varmetap p.g.a. hindring for luftstrømninger.

Klar plast har stort sett de samme virkninger.

Svart plast blir svært varm i overflaten, men slipper ikke den kortbølgede innstrålingen igjennom. Da varmen fra den oppvarmede plasten må passere et luftsjikt, vil dette virke som isolasjon, og vi kan få nedsatt innstrålt nettoenergi i forhold til udekket, svart jord. Til gjengjeld brukes mindre av den innkommende energien til evaporasjon, derfor blir nettoresultatet at svart plast gir omtrent samme jordtemperatur som udekket jord.

Svart plast har imidlertid en vesentlig virkning, nemlig at den beskytter mot ugras. Videre vil jordstrukturen ofte være svært god under svart plast. Det siste gjelder også mange andre mulch-typer.

Vi kan så ta for oss virkningene av en svart oljeemulsjon (asfalt) på jordoverflaten. Den gir i første rekke en større innstrålt nettoenergi ved nedsetting av refleksjonen. Hvis den også skal påvirke varmetapet til fordamping, kreves det at den danner en sammenhengende hinne på overflaten, og dette kan ofte være vanskelig å oppnå i praksis. Jordtemperaturen er imidlertid noe høyere enn for udekket jord.

En del ulike kulturinngrep skal nevnes etter deres evne til å heve jordtemperaturen: glass > klar plast > asfalthinne > tromling av jorda > udekket jord, svart plast > halm, Al-folie.

## 2. Egenskaper ved jorda.

Her har særlig forholdet mellom vann og luft betydning, da lufta både har liten varmekapasitet og liten varmeledningsevne. Ved tromling og annen pakking drives luft ut av jorda, og det blir bedre kontakt, høyere vanninnhold (prosentvis) og dermed høyere varmekapasitet og varmeledningsevne. Ved et visst fuktighetsinnhold vil oppvarmingen (avkjølingen) gå raskest (når  $K/c_v$  er max.).



VIII. Det faste materialet.

A. Egenskaper for enkeltpartikler.

Det faste materialet består av organisk materiale og mineralmateriale. Det organiske materialet består av mer eller mindre omsatte døde organismer og av levende organismer. Mineralmaterialet består av blokker, stein, grus, grovsand, finsand, grovleir og leir. Partikkelstørrelsen bestemmes ved sikting (store partikler) og ekvivalent med størrelsen av kuler som faller i en væske med samme hastighet som partiklene (Stokes lov). Av mineralmaterialet er leirpartiklene de mest aktive, både i fysiske og kjemiske egenskaper.

1. Spesifikk vekt.

2  
° Med spesifikk vekt menes forholdet mellom tettheten for et materiale og tettheten av et referensmateriale. Vanligvis brukes tettheten av vann ved + 4 °C som referens. Med tetthet for et jordmateriale menes masse av tørt materiale pr. volumenhett tørt materiale. Tettheten har benevnningen g/cm<sup>3</sup>. Settes tettheten for vann ved + 4 °C = 1 g/cm<sup>3</sup>, får tetthet og spesifikk vekt samme tallverdi. I tabellen nedenfor er oppgitt spesifikk vekt for forskjellig slags materiale (e. Jumikis).

<u>Materiale</u>	<u>Spesifikk vekt</u>
<u>Humus</u>	1,37
<u>Myr (omdannet)</u>	1,26-1,80
<u>Myr (sphagnum)</u>	0,50-0,80
<u>Biotitt</u>	2,7 -3,2
<u>Feltspat</u>	2,5 -2,8
<u>Hematitt, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	4,3 -5,3
<u>Illitt</u>	2,6
<u>Kaolinitt</u>	2,50-2,65
<u>Montmorillonitt</u>	2,0 -2,4
<u>Muskovitt</u>	2,76-3,00
<u>Plagioklas</u>	2,67-2,74
<u>Kvarts</u>	2,65

For mineralmaterialet blir det ofte regnet med en midlere spesifikk vekt på 2,6-2,7. I matjordlaget er vanligvis den spesifikke vekten lågere enn lenger nede i profilet p.g.a. humusinnholdet.

## 2. Spesifikk overflate.

Med spesifikk overflate menes samlet overflate av et materiale pr. volum - eller vektenhet. Den spesifikke overflaten er omvendt proporsjonal med partikkelstørrelsen. Dessuten er den avhengig av mineralpartiklens form. Blad- eller plateformede mineraler har vanligvis langt større spesifikk overflate enn runde eller kubiske mineralpartikler. Spesifikk overflate måles i  $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ,  $\text{cm}^2/\text{g}$  eller  $\text{m}^2/\text{g}$ . Etylenglykol er mye brukt til å bestemme spesifikk overflate.

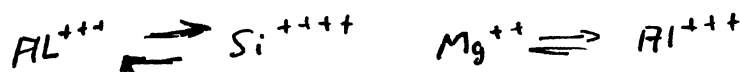
Nedenfor er oppgitt spesifikk overflate for noen leirmineraler og organisk materiale.

<u>Materiale</u>	<u>Spes. overflate (<math>\text{m}^2/\text{g}</math>)</u>
Kaolinitt	ca. 15 - 20
Illitt	ca. 80 - 100
Montmorillonitt	ca. 800
Org. materiale	opp til 800 (stor variasjon)

Til sammenligning kan nevnes at kubiske steiner med 10 cm sidekant har en spesifikk overflate på  $6 \cdot 10^2 \text{ cm}^2$  pr.  $10^3 \text{ cm}^3 = 0,6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$  eller ca.  $0,23 \text{ cm}^2/\text{g} = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{g}$ . Den spesifikke overflaten er kanskje den egenskapen som forteller mest om ulikheten mellom forskjellige jorder både med hensyn til kjemiske og fysiske egenskaper.

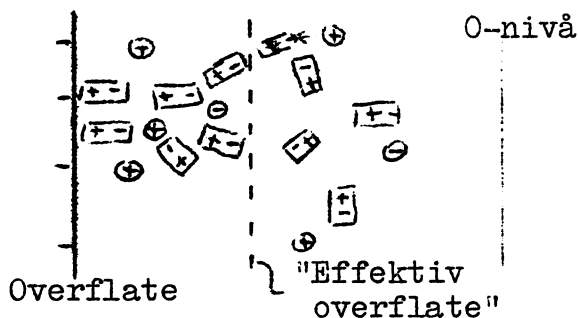
## 3. Ladning og Zetapotensial.

De fleste jordpartikler har elektrisk ladning. Leirmineraler har f.eks. negative ladninger på de store flatene og positive ladninger på de små sidekantene. Den negative ladningen skyldes hovedsakelig isomorf substitusjon av katjoner i krystallgitret, dessuten jonisering av f.eks. OH-grupper. Med isomorf substitusjon menes en innbyttning av katjoner i krystallgitret



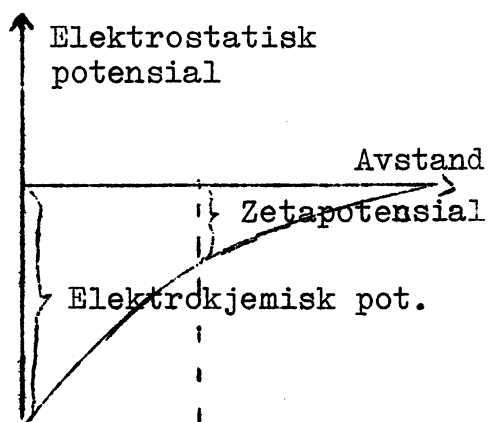
etter størrelse. Ladningen trenger imidlertid ikke være den samme for de to jonene. Ved substitusjon av  $Mg^{++}$  for  $Al^{+++}$  vil det bli én ekstra negativ ladning. De positive ladningene på sidekantene skyldes brudne bånd, f.eks. mellom Si og O.

I organisk materiale er det mange positive og negative grupper, dessuten mange polare grupper. Tiltrekningen overfor katjoner dominerer ofte ved vanlig pH. Hvis vi forutsetter samme ladningstetthet for de ulike mineraler, er det naturligvis den spesifikke overflaten som bestemmer det totale antallet av ladninger. Intensiteten for et elektrisk felt måles ved hjelp av elektrostatisk potensial.



Definisjon på elektrostatisk potensial:

Det arbeid en må utføre mot feltkreftene ved å overføre en positiv ladning fra et referensnivå til et gitt punkt.



Leirpartiklene er negativt ladd på de store flatene. For katjoner blir derfor potensialet negativt. Det totale eller elektrokjemiske potensialet svarer nærmest til ombyttingskapasiteten, mens det såkalte Zetapotensialet svarer til det elektrostatiske

potensialet ved "effektiv" overflate av partikkelen.

Da vannmolekylene er dipoler, vil den positive enden tiltrekkes av en elektronegativ overflate. Kraftvirkningen avtar svært raskt utover, men fører likevel til at en del vannmolekyler nesten er ubevegelige, sjøl utenfor det innerste laget av vannmolekyler. Hvis vi tar et vilkårlig valgt skjæringsplan i en viss avstand fra partikkeloverflaten, vil potensialet der være avhengig av hvilke katjoner som er adsorbent. Potensialet avtar i tallverdi etter ladningen.

$$\text{Katjon}^{+++} < \text{Katjon}^{++} < \text{Katjon}^{+}$$

Hvis dette potensialet blir redusert tilstrekkelig, blir fra-  
støtningen mellom partiklene mindre, og vi kan få flokkulering.

Den "effektive" overflaten av en ladd leirpartikkel er nærmest  
en tankekonstruksjon, da en har et kontinuerlig fall i poten-  
sialet (tallverdi) ut fra overflaten. Zetapotensialet avtar  
med stigende jonekonsentrasjon.

Den primære flokkuleringen av en leirsuspensjon må ikke blandes  
sammen med aggregatdannelse. Det er riktigere å si at aggre-  
gering = kort avstand++.

B. Samspill mellom partikler og mellom partikler og vannmolekyler.

### 1. Friksjon.

I sand vil det være friksjon mellom sandkornene innbyrdes.  
Sanden står i skråninger på grunn av at friksjonen er like  
stor som tyngdekomponenten langs skråningen. Betrakter vi to  
flater som glir langs hverandre, øker friksjonen med belast-  
ningen normalt på flatene.

Også i andre jordarter kan det være friksjon. I en aggregert  
leire som er tørket opp, kan det oppstå friksjon mellom aggre-  
gatene.

Friksjonskoeffisienten oppgis som tangens til friksjonsvinkelen.  
I sand kan friksjonsvinkelen være i området 28°-38° for løs  
sand og 35°-45° for tett sand av samme slag. For grus kan  
friksjonsvinkelen bli større. For leire er vanligvis friksjons-  
vinkelen atskillig mindre enn for sand.

### 2. Kohesjon.

#### a. Intra-aggregatkohesjon.

Et aggregat består av en samling av enkeltpartikler. Vi skal  
se på de kreftene som binder partiklene sammen til aggregater.  
Kohesjon (= sammenheng mellom like partikler.)

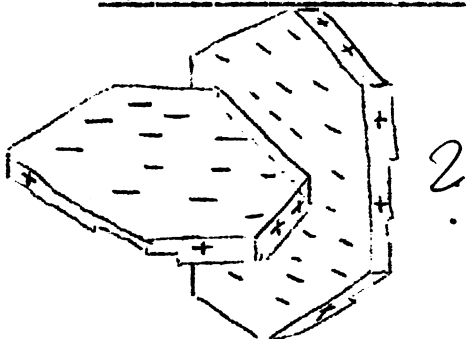
Vi har to begreper:

Interaggregat - kohesjon = tilsynelatende kohesjon  
(mellom aggregater)

Intraaggregat - kohesjon = sann kohesjon  
(innen aggregater).

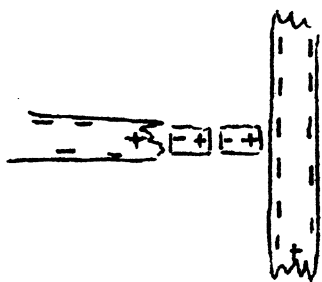
Kohesjon måles i samme enheter som trykk ( atmosfære, bar, dyn/cm<sup>2</sup> eller kp/cm<sup>2</sup>). Her vil vi først se på krefter som binder partiklene sammen innen et aggregat (Intra).

Joniske krefter mellom leirplater.



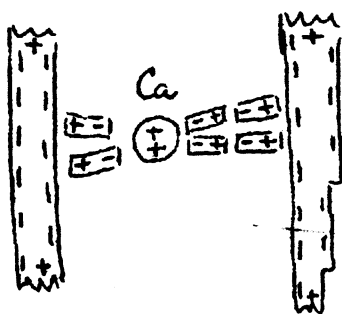
De store flatene er negativt ladd, mens sidekantene er positivt ladd.

Hydrogenbinding.



Her dannes det bruer ved hjelp av vannmolekyler mellom positive og negative "steder".

Samspill mellom ombyttbare joner, vannmolekyler og ladde overflater.



Dette har vært regnet for å være en viktig effekt.

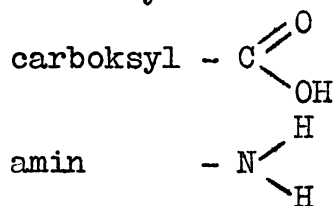
Det er stor forskjell mellom jonene med hensyn til kraftvirkning og antall lag av vannmolekyler de kan holde omkring seg. (Grim).

	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>
Tørr jord	2 H <sub>2</sub> O	1 H <sub>2</sub> O
Våt jord	4 H <sub>2</sub> O	10 H <sub>2</sub> O
Bindingskraft	Sterk	Svak

Na<sup>+</sup>-leirer er kjente for å svulle og krympe sterkt. I vanlige norske leirer er det Ca og Mg som dominerer blant ombyttbare joner.

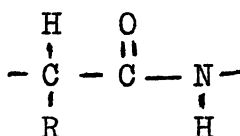
Brubygging ved hjelp av organiske molekylar.

To kjemiske grupper er særleg viktige når det gjelder organiske molekylar:

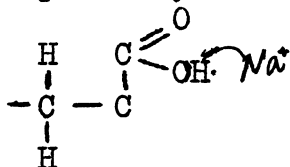


Begge disse gruppene har polare eigenskapar, og kan derfor tiltrekke vannmolekylar.

I peptidar har en:



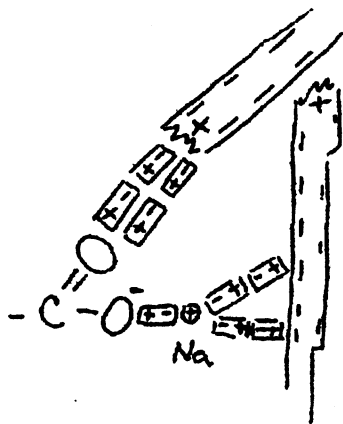
Krilium er et jordforbedringsmiddel (aggregeringsmiddel) som har kjempemolekylar med "grunnenheten"



Det er i alt noe sånt som 320 C-atomer fordelt langs en "tråd".

Krav til "aggregatbyggere":

- a. lange kjeder
- b. jamm fordeling av polare grupper.



Ved hjelp av ladinger og polare grupper i samvirkning med joner og vannmolekylar kan både positive og negative flater tiltrekkes.

Organiske kjempekatjoner som kan tenkes bygd opp ved å substituere H i  $\text{NH}_3$  og  $\text{PH}_3$  med visse organiske grupper har vist seg å kunne "sprengje" leirplatar fra hverandre.

Mye av det organiske stoffet av mer varig natur i jorda er bundet til leirkolloider. Denne bindingen opprettholder en slags korthusstruktur. Men hvis de ytre kreftene blir for sterke kan korthuset bryte sammen.

### Inngjerdningseffekt.

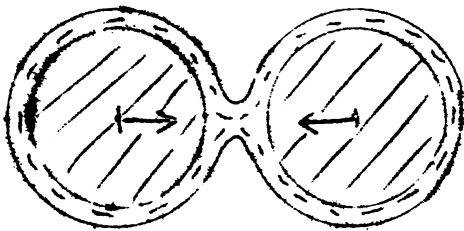
Det har vist seg at enkelte stabile aggregater har et hylster av visse kjemiske sambindinger, f.eks.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  eller organiske sambindinger. Jordpartikler kan bindes sammen av levende bakterier (bakteriekolonier) og sopper. Mange bakterier og sopper syntetiserer materieale som har effekt på aggregeringen, f.eks. polysakkarider. Sopphyfer kan binde sammen partikler direkte.

I jord som har ligget til eng, ser vi ofte at rotsystemet faktisk gjerdner inn aggregater. Virkingen av eng forsvinner forholdsvis raskt når den legges ut til åpen åker.

### b. Interaggregatkoheasjon.

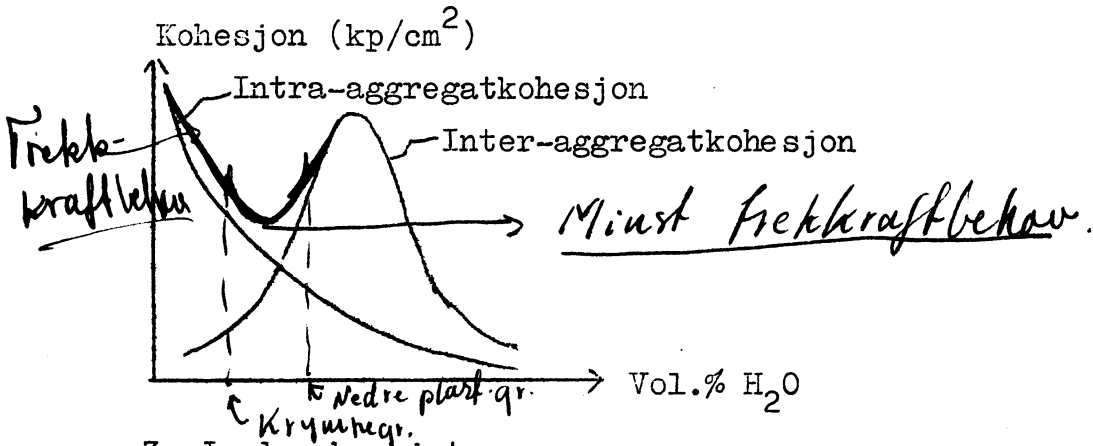
Inter-aggregatkoheasjonen gir seg uttrykk i at aggregater trekkes mot hverandre med en viss kraft. Årsaken til denne kraftvirkingen er først og fremst overflatespenningen i vannfilmene på overflaten av aggregatene. Denne tiltrekningen vil være liten både ved svært lite og ved stort vanninnhold, men ha et maksimum når de fleste aggregater er omgitt av vannfilmer av midlere tykkelse. Her er det ganske klart at aggregatstørrelsen har betydning. Interaggregatkoheasjonen tiltar med avtakende aggregatstørrelse.

I sandjord kan vi snakke om inter-partikkelkoheasjon. En regner vanligvis at leire er en koheasjonsjordart, mens sand blir holdt for å være en friksjonsjordart. I sand hvor grunnvannsnivået ikke er for djupt, vil imidlertid sandpartiklene i de øvre sjiktene dras mot hverandre på grunn av suget i vannet. Dette



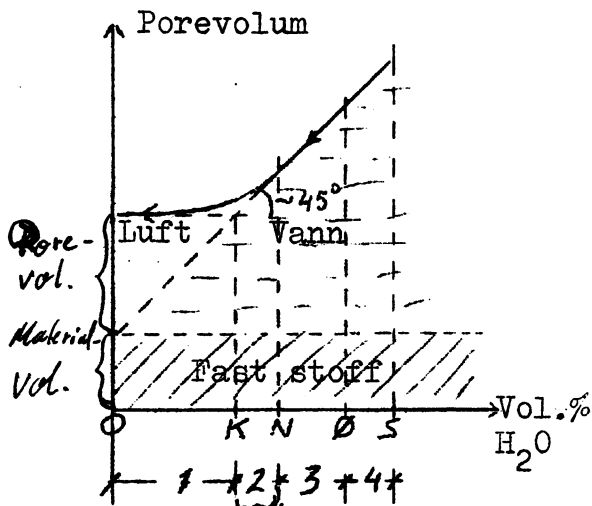
fenomenet gir sanden et tillegg i fasthet som igjen kan forsvinne ved uttørking eller ved metning med vann. På mange sandstrender er det mulig å kjøre med biler en viss tid mellom flo og fjære.

Dette har sammenheng med sandens midlere partikkelstørrelse og med avstanden til "grunnvannet" som i dette tilfelle er havoverflaten.



### 3. Jordas konsistens.

Med konsistens menes vanligvis den motstand jorda viser mot krefter som prøver å deformere eller bryte i stykker aggregatene. Konsistens kan betraktes som det ytre resultat av kohesjons- og adhesjonskrefter ved ulike vanninnhold. Konsistensbegrepet kan brukes bare for jorder med kohesjon. Adhesjon er sammenheng mellom ulike molekyler.



S = Startinnhold av vann.

Ø = Øvre plastisitetsgrense. (Flytegrense)

N = Nedre plastisitetsgrense. (Utrullingsgrense)

K = Krympegrense.

1 = Fast tilstand.

2 = Halvfast "-"

3 = Plastisk "-"

4 = Flytende "-"

Ø-N = Plastisitetsindeks.

ganskelig område for jordarb. → fargeomslag / krympegrensa.

På figuren er vist forholdet mellom porevolum og vanninnhold i undergrunnsleire som tørker ut fra overmetning.

Krympegrensa er viktig da den svarer omtrent til vanninnholdet ved omslaget i fargen av leirjord ("pløgslekammene kvitner"). Det forekommer at krympegrensa kan ligge ved en energitilstand i vannet som svarer til pF 5 - altså under visnepunktet. Det er svært vanskelig å arbeide slik jord med redskaper.

Med plastisitet menes den egenskap at et materiale kan deformeres kontinuerlig uten brudd i materialet. Plastisitetsindeksen er differansen mellom vanninnhold ved øvre og nedre plastisitetsgrense. Plastisitetsindeksen er 0 for ren sand, og stiger med økende innhold av finmateriale.



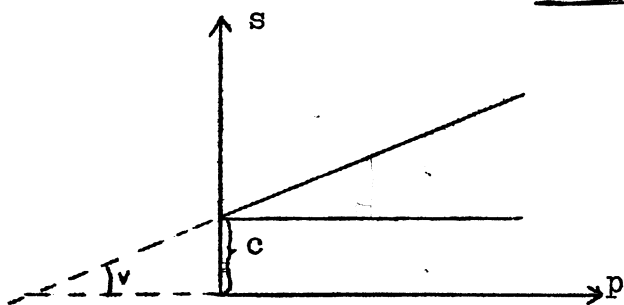
Undertiden ser en at området mellom plastisitetsgrensene blir delt inn i: stiv - middels myk - myk - svært myk (regnet fra nedre plastisitetsgrense).

Årsaken til plastisitet er at leirmineralene omgir seg med vannfilmer. Vannet nærmest mineraloverflatene er nærmest ubevegelig, mens bevegeligheten tiltar med økende avstand fra overflaten. I en viss avstand vil flatene begynne å gli i forhold til hverandre når det kommer en ytre påvirkning.

4. Fasthet og bæreevne.

a. Skjærfasthet.

Skjærfastheten for en jord er motstanden mot deformering under påvirkning av et tangentialtrykk.



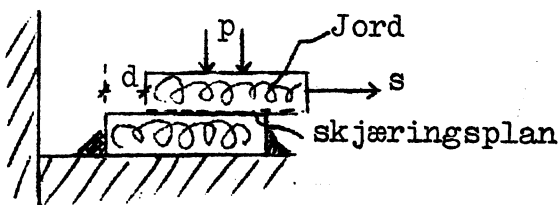
Coulombs lov sier at skjærfastheten (eller skjærholdfastheten) for en jord er proporsjonal med trykket som virker normalt mot skjæringsplanet.

$$s = p \tan v + c$$

$s$  = skjærfasthet (kp/cm<sup>2</sup>)

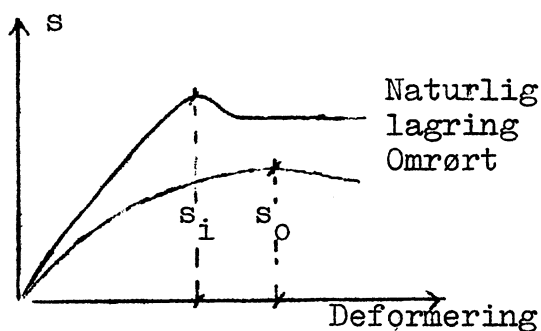
$p$  = normaltrykk mot skjæringsplanet (kp/cm<sup>2</sup>)

$c$  = kohesjon (kp/cm<sup>2</sup>)



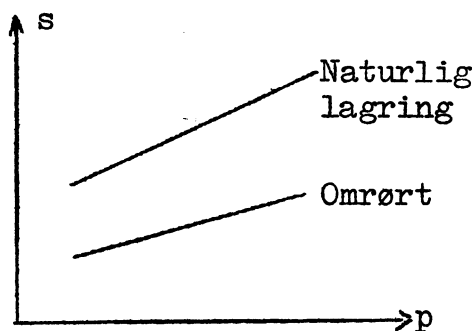
Skjærfastheten for en jord skyldes strukturell motstand mot deformering ved gjensidig "låsing" mellom jordpartikler, friksjonsmotstand i kontaktpunktene og kohesjonen mellom jordpartiklene.

I en tett sand kan vi ha en maksimal skjærfasthet ved en viss relativ deformering. Ved større deformering avtar skjærfastheten igjen og går mot en konstant verdi.



I mange slags leirjord er det stor forskjell mellom max. skjærfasthet for jord i naturlig lagring og i omrørt jord. Uttrykket sensitivity (=følsomhet) gjelder forholdet  $s_i/s_o$ . Ved

djuparbeiding er det alltid en viss fare for at den omrøringen vi får, kan redusere fastheten i de djupere lagene. Utvasket havleire har vanligvis mindre fasthet enn leire med større saltinnhold, og leirer som er avsatt i ferskvann, kan ha større fasthet enn leirer avsatt i saltvann (Rosenquist).



Skjærfastheten har stor betydning for bl.a. bæreevnen, dessuten for motstanden mot jordarbeiding.

Tar vi for oss Coulombs lov igjen:

$$s = p \tan \nu + c$$

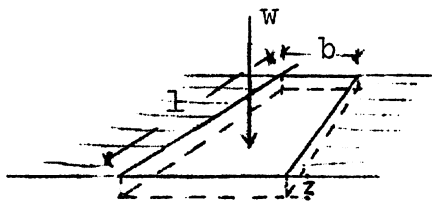
vil vi i en tørr sandjord ha  $c = 0$ . Det suget vi får ved å senke grunnvannet i en mettet sand, gir en viss kohesjon for sandjorda. Når sandjord av og til kan stå i skråninger som er brattere enn friksjonen skulle tilsi, skyldes dette nettopp inter-partikkelkohesjonen.

I en ren leirjord kan vi ha  $s = c$ . De fleste leirer vil imidlertid få økt fasthet ved stigende normaltrykk, men dette avhenger av fuktigheten. Fastheten vil f.eks. ikke øke ved øket normaltrykk i en våt leire.

#### b. Bæreevne.

Med bæreevne menes den høyeste verdi av det midlere kontaktrykk, overført av et fundament, som jorda kan tåle uten å gi etter.

Dette begrepet er til nytte også for maskiner som beveger seg på jorda. I prinsippet måles bæreevnen ved å belaste en plate, og så måle nedsynkningen i jorda.



Bekker har foreslått følgende formel:

$$W_s = A (cN_c + \gamma z N_q + \frac{1}{2} \gamma b N_\gamma) \quad \text{Må ik. larast!}$$

Her er  $W_s$  = last (g eller kg) som er stor nok til at en plate av areal  $A = lb(\text{cm}^2)$  såvidt kan holde seg oppå jorda.

$c$  = kohesjon ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

$z$  = nedsynkning (cm)

$\gamma$  = volumvekt ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$N_c, N_q, N_\gamma$  = størrelser uten benevning. De stiger med friksjonsvinkelen,  $v$ .

$b, l$  = bredde, lengde av platen (cm)

$W_s/A$  gir et uttrykk for bæreevnen. Vi ser at den tiltar med økende kohesjon og friksjon og med volumvekt. De eneste størrelser en trenger å måle, er  $x, z, c$  og  $v$ . Ligningen ovenfor gjelder strengt tatt bare for en statisk tilstand. For en maskin som beveger seg over et jorde og synker ned, må det bestemmes flere parametre.

Forholdet mellom marktrykk og nedsynkning kan beskrives av følgende formel (statisk nedsynkning):

$$p = kz^n$$

$k$  = modulus for deformering av jorda

$z$  = nedsynkning i cm :

$n$  = eksponent for deformering

$p$  = marktrykk av hjul eller belte ( $\text{kp}/\text{cm}^2$ )

$n$  ligger vanligvis mellom  $\frac{1}{2}$  og 1, med de lågeste verdiene for kohesjonsjorder (leire) og de høgeste for friksjonsjorder (sand).

Skriver vi om til

$$z = \sqrt[n]{\frac{p}{k}} = \frac{p^{\frac{1}{n}}}{k^{\frac{1}{n}}}$$

ser vi at nedsynkningen vokser med en potens av marktrykket ( $1 < \frac{1}{n} < 2$ ).

Faktoren  $k$  består av to ledd

$$k = (k_c/b + k_v)$$

$k_c$  = modulus for deformering som henger sammen med den kohesive komponenten for jorda.

$k_v$  = modulus for deformering som henger sammen med friksjonskomponenten for jorda.

$b$  = bredde av plate (hjul, belte).

Ved hjelp av spesielle målinger kan en finne  $k_c$ ,  $k_v$  og  $n$ .

## IX. Jordstruktur.

### A. Definisjon.

Ordet structura er latin og betyr byggeart eller oppbygningsmåte. Structor er en bygningsarbeider (murer). Struere betyr å legge i lag.

Vi kan definere jordstruktur som oppbygningen og styrken av jordskjelettet. Aggregater og enkeltpartikler er strukturelementer. Sand har enkeltkornstruktur, d.v.s. det er ingen aggregering. Som motsetning kan vi ta en leirjord eller humusholdig jord som har aggregatstruktur. I undergrunnsleirer kan vi ha en massiv struktur.

I et byggverk er det et ytre skjelett med en viss stabilitet og med en eller annen form. Skjelettet omgir rom av ulike størrelser og med ulike funksjoner. Det kan være lagerrom, transportrom, arbeidsrom.

Tilsvarende har vi for jorda et skjelett som er bygd opp av det faste materialet. Skjelettet omgir porene, som fungerer som lagerrom og transportrom for vann og luft og som arbeidsrom for levende organismer (røtter, bakterier, sopper, larver, meitemark).

Det faller derfor naturlig å se på poreforholdene, byggeåten og formen av byggelementene.

### B. Porer og aggregater.

Vi har før sett at porevolumet er fylt av vann og luft - vann nærmest veggene og luft i de porene som er store nok til ikke å være vannfylte. Mellom volumvekt og porevolum eksisterer det en grei formel:

$$\underline{(1 - \text{volumvekt/tetthet}) \cdot 100 = \text{Porevolum}}$$

Tettheten, som i tallverdi kan settes lik den spesifikke vekten, kan i middel regnes for  $2,6 - 2,7 \text{ g/cm}^3$ .

Skal vi regne om fra vekt- til volumprosent, har vi

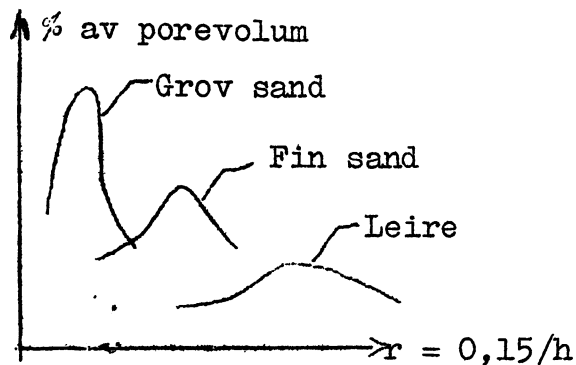
$$\text{Volumprosent} = \text{Volumvekt} \cdot \text{Vektprosent}$$

Videre er volumprosent vann = mm vann pr. 10 cm dybde.

### Korn

1. Porestørrelsefordelingen er viktig, da den sier oss hvor mye det er av ulike porestørrelser. Ettersom det eksisterer et direkte avhengighetsforhold mellom porestørrelsen og bindingsenergi for vannet i jorda, kan vi bruke kapasitets-intensitetskurver til å finne fordelingen av ulike porestørrelser. Hvis  $w = \text{volumprosent vann}$  og  $h = \text{sug i cm v.h.}$ , har vi  $dw/dh = \text{stigningsforholdet for fuktighetskurven som mål på hvor mye vann som er bundet i et visst energiområde}$ .

Da vi har tilnærmet at  $r = 0,15/h$ , er det enkelt å finne den midlere porestørrelsen innenfor samme område. Ved å dividere



$dw$  på porevolumet, kan vi få greie på andelen i prosent av det samlede porevolumet innenfor hvert størrelsesområde.

I sand, som er dårlig gradert, kan storparten av porevolumet henge sammen med en bestemt porestørrelse. I aggregert

leirjord har vi tørkesprekker, meitemark-ganger og rotkanaler som alle er store hulrom, mens det inne i aggregatene er små hulrom. Alt i alt kan en si at de grovkornede jordene har få, men store porer, mens de finkornede jordene har et utall av små porer, særlig i djupere lag. Porestørrelsen er, som vi har sett tidligere, svært viktig for transportprosessene i jorda.

2. Aggregatstørrelsefordelingen kan finnes ved å sikte tørr jord i ulike fraksjoner. Da livsvirkomheten og transportprosessene foregår i porene, er det viktigere å kjenne porestørrelsefordelingen enn aggregatstørrelsefordelingen. En kan imidlertid dra en del slutninger fra aggregatstørrelsefordelingen. Hvis

det er omtrent like mye materiale i alle størrelseklasser, vil porene i middel være langt mindre enn om en av enkeltfraksjonene dominerte. Betyr så aggregatstørrelsen noe for det samlede porevolumet? Det kan her være av interesse å referere noen analyser fra Institutt for jordkultur:

Ledd	Aggregatfraksjon	Porevolum, %	Luft	Vaku	PF	3.0
A <sub>0</sub>	> 20 mm	71,5	34	38	21	
A <sub>1</sub>	20 - 6 "	69,5	31	39	21	
A <sub>2</sub>	6 - 2 "	69,7	28	42	21	
A <sub>3</sub>	2 - 0,6"	70,0	21	49	23	
A <sub>4</sub>	< 0,6"	68,8	16	53	34	
	$\frac{1}{2} A_0 + \frac{1}{2} A_1$	60,1	20		40	
	$\frac{1}{4} A_0 + \frac{1}{4} A_1 + \frac{1}{6} A_2 + \frac{1}{6} A_3 + \frac{1}{6} A_4$	51,7	10		45	
	$\frac{1}{3} A_2 + \frac{1}{3} A_3 + \frac{1}{3} A_4$	56,6				

Tabellen viser tydelig hvordan porevolumet er uavhengig av aggregatstørrelsen, hvis aggregatene er like store, og at porevolumet avtar med sterkere sammenblanding av ulike aggregatstørrelser.

Forutsetter vi at aggregatene har kuleform, og at alle kuler har like stor radius, kan porevolumet regnes ut for ulike lagring.

a. Løs lagring, enkeltkornstruktur, 48% Porevolum

b. Tett " , " , 26% "

Med løs lagring menes at kulene er plasert i en kubisk pakning.

Med tett pakning menes at kulene er plasert i en oktaedral pakning.

Tenker vi oss så at kulene blir plasert sammen, 8 og 8, i en såkalt dobbelkornstruktur, får vi

c. Løs pakning, dobbelkornstruktur:  $0,48 + 0,48 \cdot 0,52$   
 = 0,73 = 73% Porevolum.

d. Tett pakning, dobbelkornstruktur:  $0,26 + 0,26 \cdot 0,74$   
 = 0,45 = 45% Porevolum.

Vi kan legge merke til at aggregatstørrelsen i det hele ikke er

kommet med i disse resultatene. For porestørrelsen er imidlertid aggregatstørrelsen av avgjørende betydning, fordi pore-  
radien vanligvis vil ligge i området  $0,25 \cdot R - 0,40 \cdot R$  hvor  
 $R =$  aggregatradius i kuleformede, like store aggregater.

Ved blanding av ulike aggregatstørrelser avtar både porevolum og porestørrelse.

I jordmekanikken brukes mye størrelsen  $e = \text{Porevolum} / \text{material-}$   
volum til å karakterisere porøsiteten, også volumvekt er et greit mål for porøsiteten. For vanlig åkerjord i matjordlaget er det nokså vanlig med volumvekter fra  $1,1 - 1,5 \text{ g/cm}^3$ , de minste i leirjord, de største i sandjord. I lite omdannet myr kan volumvekta være i nærheten av  $0,1 \text{ g/cm}^3$ , i undergrunnsjord opp mot  $1,8 - 2,0 \text{ g/cm}^3$ .

### C. Kohesjon.

Vi har allerede vært inne på de kreftene som holder de enkelte aggregatene sammen - intra-aggregatkohesjon, og de kreftene som trekker aggregatene mot hverandre - inter-aggregatkohesjonen.

Stabiliteten av aggregater måles ofte ved hjelp av sikting i vann, eller ved å la vandrdåper falle på aggregatene. Den såkalte vannstabiliteten er et mål for hvor sterke aggregatene er til å tåle vann. Vannstabiliteten er imidlertid ingen klart definert fysisk størrelse, og betydningen av en slik måling har muligens vært overvurdert.

Både planter og maskiner arbeider i et større jordvolum, hvor de enkelte aggregater ikke opptrer enkeltvis, men er knyttet sammen ved inter-aggregatkohesjon på grunn av vannfilmene og ved en sammenveving på grunn av den biologiske virksomheten i jorda. Skal vi holde oss til sammenligningen med et byggverk, kan vi si at det er letttest å forstå konstruksjon og funksjon mens byggverket står. Ligger byggverket i ruiner, er det langt vanskeligere å forstå både oppbygning og tidligere funksjoner. Det eneste som da er enkelt, er å finne hvilke materialer huset var bygd av. Uforstyrrede jordprøver må derfor være å foretrekke i studiet av jordstrukturen.

Kohesjonen er en komponent av jordas fasthet. Den andre komponenten av fastheten er friksjonen mellom partikler og/eller aggregater. Fastheten er en klart definert fysisk størrelse og kan derfor brukes til å sammenligne styrken av ulike slags jord under gitte betingelser.

#### D. Form.

Generelt har vi enkeltkornstruktur og aggregatstruktur.

Innenfor aggregatstruktur har vi igjen mange typer.

Med platestruktur menes at de enkelte aggregater har form som plater med to dimensjoner (de horisontale) mye større enn den tredje (den vertikale).

Med prismestruktur menes at de enkelte aggregater har form som prizmer med to dimensjoner (de horisontale) atskillig mindre enn den tredje (den vertikale). Innenfor denne gruppen kan vi ha prismeformede og søyleformede (med avrundede ender) aggregater.

Med blokkstruktur menes at de enkelte aggregater har tre dimensjoner av omtrent samme størrelse, og at de enkelte sideflater stort sett er deler av plan.

Med kornet struktur menes at de enkelte aggregater har tre dimensjoner av omtrent samme størrelse, at de opptrer forholdsvis fritt, at de har en størrelse fra 1-10 mm, og at porevolumet i de enkelte korn er forholdsvis lite.

Med grynstruktur menes at de enkelte aggregater har tre dimensjoner av omtrent samme størrelse, at de opptrer forholdsvis fritt, at de har en størrelse fra 0,5 til 5-6 mm, og at porevolumet i de enkelte korn er stort.

Trevlestruktur kan brukes om strukturen i myrjord (lite omsatt).

Når det gjelder størrelsen av de andre strukturformene, kan vi regne plateformet struktur for grov når platene er mer enn 5 mm tjukke, prismestruktur kan vi regne grov når høyden av prismene blir mellom 50 og 100 mm, og blokkstruktur kan regnes grov når de enkelte blokker er større enn 20 mm.



Med klumper menes "aggregater" som er oppstått ved behandling av jorda (kjøring, jordarbeiding, grøfting).

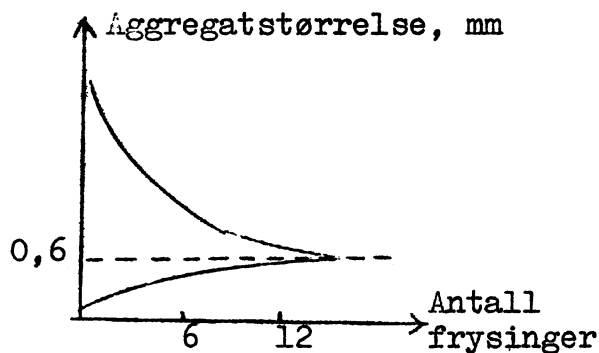
E. Klima og jordstruktur.

1. Strukturbyggende prosesser.

a. Tørking - Fukting.

På leirjord er uttørking ved evapotranspirasjon gunstig, da det dannes sprekker i de dypere lagene. Disse sprekkenes er kanaler for røtter, vann og luft. En kan si de utgjør et transport- og ventilasjonssystem. Leire som i plastisk tilstand er knadd sammen til en deig, kan etter flere tørke - fukte-prosesser bli oppdelt i aggregater, i dette tilfelle blokker.

b. Frysing - Opptining.



Figuren viser til forsøk av Sillanpää som fant at store aggregater ble smuldret, men at mindre aggregater faktisk kunne bygges opp til større. Vekslingen mellom frost og opptining senhøstes og tidlig på våren er av stor betydning

for smuldring av det øverste laget i leirjord. Smuldring = oppdeling av større klumper i naturlige aggregater.

Virkningene av frysing består som tidligere nevnt i at vannet utvider seg 9 % ved frysing, at islinsene vokser ved at vann trekkes til frysesonen, og at jorda mellom islinsene tørker ut.

I jord med mye av grovleir og fin finsand blir det en sterk teleheving som kan føre til at jorda blir som en velling under opptining om våren.

Islag på overflaten av jorda kan føre til større varmetap fra jorda enn når det ligger snødekke på overflaten.

Oppfrysing av planter gjør skade i overvintrende vekster. Et islag på overflaten kan hindre lufttilgang til røttene. Planter som begynner å vokse på varme soldager om våren kan stå med

røttene i frosset jord og derfor dø av vannmangel.

## 2. Strukturødeleggende prosesser.

### a. Virkninger av vann.

Hydratisering av leire fører vanligvis til svelling. Sprekker som er transportveier for vann og luft lukkes igjen, og det vil bli mangel på surstoff i de dypere lagene. Ved nedsenking i vann blir interaggregatkohesjonen sterkt redusert. Følgen av dette er at leirjordas bæreevne reduseres sterkt. I de dypere lagene av leirjord er det nesten alltid sterk kohesjon, derfor synker tyngre redskap ned gjennom matjordlaget når jorda er våt, og får fotfeste på den delen av jorda som ikke er arbeidd tidligere. Under denne nedsynkningen vil sliringen av traktorhjulene føre til at jorda blir knadd sammen til en deig, fordi den er plastisk i et visst fuktighetsområde.

Innelåste luftbobler vil under svelling presses sammen til trykket i boblen blir så stort at det sprenger aggregatene fra hverandre. Denne virkningen er størst ved rask fukting.

Fallende regndråper har stor bevegelsesenergi hvis dråpene er store. Jorda slemmes sammen på overflaten av sterkt slagregn. Sammenslemmingen er verst hvis vi har en leirjord med mye fin finsand og grovleir. Finsand- og grovleir-partiklene slemmer igjen porene i jorda. Det er tre stadier ved skorpedannelse:

Dispergering.

Lagdeling etter mekanisk sammensetning.

Uttørring.

Virkningen av skorpe består i at surstoffdiffusjonen nedsettes, at spirene får vanskeligheter med å trenge gjennom skorpen, og at infiltrasjonshastigheten for vann nedsettes sterkt.

Slagregn på åpen jord kan føre til erosjon. I amerikanske undersøkelser har det vist seg at regnets bevegelsesenergi er en avgjørende faktor for erosjonsskaden. Regnets bevegelsesenergi stiger raskt med dråpestørrelsen. Som mål for erosjonsfare brukes til dels summen av produktet (total regn-energi x maximum 30-minutters regn-intensitet) for alle regnvær gjennom året.

Av faktorer ved jord og terreng som betyr noe, kan nevnes hellingsgrad og total lengde av skråninger, mekanisk sammensetning av jorda (fin finsand og grovleir eroderer lett) og vekstfølge. I åpen jord er erosjonsfaren langt større enn i jord med plantedekke. For å unngå at vannet får for stor fart nedover skråninger, bruker en terrasser, kotepløying etc.

b. Virknninger av vind.

Vind sliper i stykker aggregatene, og fører bort jordmateriale ved vinderosjon. Vinderosjonen består i at:

Finmateriale bæres over store avstander i suspensjon.

Grove partikler ruller bortover overflaten.

Midlere partikler beveger seg ved "hopping".

Hopping vil si at små lufthvirvler løfter partiklene opp i lufta og bærer dem noen få cm. Ved nedslaget vil en ny partikkel bli truffet og gjør et nytt hopp o.s.v.

Jord med mer enn 60 % partikler av størrelse 0,1 - 0,5 mm blåses lett.

Et le er en mekanisk innretning som setter ned vindhastigheten. Levirkning kan defineres som prosentvis nedsetting av vindhastigheten.

I lengderetningen kan levirkningen strekke seg over 25-35 x le-høyden. Et fullstendig tett le har ikke så lang rekkevidde som et le med et visst hullareal.

Ved at vindhastigheten avtar, stiger vanligvis dagtemperaturen, mens det kan være omvendt med natttemperaturen.

c. Virknninger av jordbehandling.

Jordarbeiding og kjøring når jorda er våt, ødelegger strukturen, i hvert fall på leirholdig jord. All jordarbeiding fører til at jorda blir liggende åpen og at organisk stoff oksyderes.

Indirekte er derfor jordarbeidinga med på å ødelegge strukturen, ved at jorda utsettes mer for skadelig klimatisk innflytelse.

Imidlertid må en være klar over at frostvirkningen kan bli noe

bedre på bar enn på dekket jord - dette virker da i gunstig retning. Faren for ødelegging av strukturen er derfor forholdsvis liten under klimaforhold hvor en har en meget kort overgang mellom vekstsesong og tele i jorda, forutsatt at leirjorda behandles ved passende fuktighet.

#### F. Strukturforbedring.

Om en struktur er god eller dårlig, må sees i forhold til hvordan den kan virke inn på ulike funksjoner.

Med hensyn til jordskjelettet ønsker vi tilstrekkelig fasthet til å komme fram med maskiner og redskaper, dessuten at jorda ikke er plastisk eller flytende når den skal arbeides. Hvis en ser på porene, skal fordelingen av porestørrelsene være slik at luftvekslingen ikke blir noen minimumsfaktor i veksten. Er det tilstrekkelig av store porer vil også vannledningsevnen øke, det samme vil infiltrasjonshastigheten. Tar vi så for oss varmekorholdene, har vi sett at en jord oppvarmes raskest ved god varmeledningsevne og en midlere varmekapasitet. Siden begge disse størrelsene henger sammen med vanninnholdet, ser vi igjen nødvendigheten av å få unna overflødig vann. På de grovkornede jordene kan det være en oppgave å øke vannkapasiteten.

#### 1. Drenering.

Grøfting må i dag regnes som det viktigste tiltak for å gjøre strukturen bedre. Vannet må for all del ikke bli stående i ploglaget. Det vil ødelegge fastheten, stoppe luftvekslingen, gjøre jorda kald; alt sammen faktorer som vil svekke planteveksten og ødelegge framkommeligheten for maskiner og redskap.

Da god grøfting i det minste tømmer ploglaget for overflødig vann, vil det bli muligheter for uttørking ved rotutvikling i djupere lag, dessuten sprekkedannelse i djupere lag ved frost og tørke og endelig mindre strukturskader ved kjøring.

Strukturen vil ikke bare vernes, den vil også forbedres indirekte ved større biologisk aktivitet.

## 2. Plantevekst.

Planterøtter netter inn jorda, mens de overjordiske delene beskytter mot tilslemming og erosjon. Rotsystemet kan, hvis vekstvilkårene ellers er gode (god drenering) åpne jorda i dybden ved at små sprekker gjøres større og stabiliseres. Når det gjelder rotutvikling nedover i profilet, har svenske undersøkelser vist at den gode rotutviklingen i dybden først og fremst forekommer i leirjord. Både i sand- og mojord er det forholdsvis grunn rotutvikling. (Ved tilførsel av organisk materiale i større dybde kan slike jorder imidlertid få djupere rotutvikling.) I de svenske undersøkelsene ble det i ett tilfelle funnet høstkveiterøtter i 2,5 m dybde i leirjord (1959 - et tørkeår), videre at røttene i høstkorn kan være utviklet ned til 1 m dybde allerede om høsten. Hos kornartene er det frørøttene som går mot dybden, kronrøttene holder seg mest i matjordlaget.

Rester som blir igjen etter planteproduksjonen, tjener som råstoff for mange slags biologisk virksomhet i jorda. Restene omsettes og kan gå over i varige humusformer. For at den aerobiske del av omsetningen skal gå raskt, kreves det oxygentilførsel. Det vil alltid være konkurransen om oxygenet i jorda, og en kan med god grunn anta at oxygenet er en av de vekstfaktorene som vanligvis er til stede i for liten konsentrasjon.

### a. Rotutvikling.

En kan dele inn rotsystemer i tre grupper:

Pelerot består av en hovedrot, og fra denne går det ut sekundære røtter, som strekker seg til sidene.

Eksempler: Sukkerbete, raps.

Trevlerot er karakterisert ved forgreininger som ofte er svært fine.

Eksempler: Poteter, jordskokk, grasarter.

Mellom disse to gruppene fins vekster med greinede røtter.

Frukttrær har greinede røtter.

Hvis en skjærer over en siderot som er vokst ut fra en pelerot vil det danne seg et knippe av nye røtter innenfor såret.

Skjærer en over en av røttene hos planter med trevlerot, vil det vokse ut nye røtter fra de nedre deler av stengelen. Hvis røtter av første type treffer på vanskelige forhold i jorda, dør de, løser seg opp ved råtning og etterlater et åpent sår. Røtter av den andre typen dør også, men sender ut nye røtter fra de nedre leddknutene på stengelen. Disse blir da mer overfladiske.

Når en levende pelerot treffer en hard jordklump, stein, halm-pakke e.lign., prøver den å gå rundt hindringen. Hvis det fins en liten sprekke i hindringen, kan rota i visse tilfelle trenge gjennom, men får en mindre diameter. Sukkerbete er av de plantene som reagerer sterkest på jordstrukturen. (Hénin, Fresé.)

Grasrøtter har i regelen en forholdsvis kort levetid. Det er normalt å finne ganske mange fine grå røtter (døde) uten at det er noe tegn på dårlig sunnhetstilstand. Slanke, hvite røtter kan godt eksistere samtidig og er tegn på at miljøet er sunt. Tegn på usunt miljø er at røttene blir rette, ofte også tjukke og uten adhesjon til jordelementene. Grasrøtter i sunt miljø er buktet, og forsynt med rothår nær endepartiet. Prøver en å ta opp slike røtter, følger det med jord. I svært porøs jord blir det store mengder rothår, uten at en kan si dette er noe tegn på svært gunstig miljø.

I jord med lett tilgang på næringsstoffer, deler røttene seg langt mer enn i næringsfattig jord, og dette gjelder alle slags røtter. Hvis det finnes giftige stoffer, kan det bli korte og tjukke røtter. Dette er vist på sur jord etter vindyrking. Slik jord kan inneholde 50-100 p.p.m. kopper. (Delmas.)

En kan ikke vente at røtter av djuptgående vekster skal forbedre jorda, hvis ikke forholdene i jorda er slik at røttene vil trives. I en sunn jord vil imidlertid planter med pelerøtter holde ved like en åpen struktur mot dybden.

Under gode vilkår i jordprofilet, d.v.s. nok oxygen, vann og god næringstilstand, kan røttene av enkelte grasarter vokse 1-6 cm nedover pr. døgn. Denne veksten avhenger av temperaturen, men

det har vist seg at f.eks. raigras eller hundegras kan utvikle røtter sjøl om overflaten er frosset, d.v.s. ved ca.  $0^{\circ}\text{C}$  (Hénin).

Mellom vekst av rot og overjordisk del av plantene er det en tydelig sammenheng. Veksten av røttene er stort sett forsinket i forhold til veksten av de overjordiske delene.

Røttene ånder som andre vegeterende vekster. Det synes som om de har et slags optimum ved et  $\text{CO}_2$ -innhold på ca. 1 %.

$\text{CO}_2$ -innholdet kan stige gjennom kortere tid uten at røttene tar skade. Åndingsintensiteten avhenger først og fremst av temperaturen. Ved økende temperatur vokser  $\text{O}_2$ -forbruket sterkt. Om vinteren kan røttene tåle overmetning med vann gjennom lengre tid, mens oversvømmelse noen få dager kan være katastrofal i sommertida. Bertram har vist at heving av grunnvannsstanden for en 10-dagers periode kan være mest skadelig ved blomstringsstadiet (for bygg).

Den viktigste forutsetningen for djup rotutvikling er drenering av jorda. Med tida vil røttene her kunne utvide sprekker og danne stabile ganger. Den spesielle grynstrukturen en får under flerårige grasvekster er kanskje plantenes viktigste bidrag til forbedring av jordstrukturen.

Hittil har vi behandlet røttene. Tar vi for oss de overjordiske plantedelene betyr det uhyre mye for jorda at disse gir beskyttelse mot sterk vind, sterkt regn, og sterk uttørking av overflaten. Dess tettere plantedekke, dess bedre beskyttelse.

#### b. Mikrofloraen.

De fleste jordboende sopper og aktinomyces trenger god tilgang på oxygen. Blant bakteriene er det enkelte som forlanger anaerobe forhold, en hel del grupper som har alle grader av toleranse overfor stigende oxygen-mangel, og så noen som krever absolutt aerobe forhold.

Oxygen er den endelige hydrogenakseptor i aerobisk ånding, og kombinert oxygen kan spille denne rollen under anaerobe forhold. Mange bakterier kan redusere nitrat til  $\text{N}_2$  eller  $\text{NH}_3$  ved respi-

rasjon, andre kan redusere sulfater til sulfider, eller til og med  $\text{CO}_2$  til  $\text{CH}_4$ . Anaerobiske organismer må dekomponere langt større mengder organisk stoff enn de aerobiske for å skaffe seg samme mengde energi. De anaerobiske respirasjonsprosesser gir nemlig langt mindre kalorier. Omvendt kan vi si at samme mengde organisk materiale kan gi langt mer økning i aerobisk mikrobiell virksomhet enn i anaerobisk. Under svært god oxygentilgang kan mange mikroorganismer skille ut bare  $\text{CO}_2$ , hvis det er nok nitrat- eller ammoniumjoner til stede. Under forhold med begrenset tilgang av nitrat eller oxygen, kan de samme organismer skille ut et utall av energirike forbindelser. Disse forbindelsene kan deles i to: komplekse karbohydrat-slimstoffer av bakterier under aerobe forhold og en hel del løselige forbindelser, f.eks. alifatiske syrer, ketoner eller alkoholer av visse typer sopper, f.eks. aspergillus.

Under aerobiske forhold utskiller mikro-organismene N som  $\text{NH}_3$ . Hvis oxygentilgangen reduseres, eller det blir anaerobe forhold kan N utskilles som komplekse, vondtluktende aminer eller aromatiske indoler og skatoler.

Når det gjelder mengden av bakterier kan en anslagsvis sette den til 50-200 kg pr. dekar i de øverste 20 cm. (Anslagsvis etter E.W. Russell.)

Aktinomyces er en organisme som står mellom sopper og bakterier. Den danner fine, forgreinetede hyfer hvis de har fri tilgang på oxygen, likedan må jorda være skygget mot direkte sol. Aktinomyces er antagelig ansvarlig for den spesielle jordlukten (etter pløying). De liker varme og ikke for mye fuktighet.

Soppene dominerer blant mikroorganismene i råhumus og myrjord, og de kan utgjøre en viktig del av små-organismene i kulturjord. Mens kalking virker stimulerende på bakteriefloraen, vil tallet på sopper vanligvis avta, evt. holde seg uforandret. De sopper som bryter ned lignin, vokser langsomt.

Alger har klorofyll. De forekommer mest i de øvre cm av jorda. Merkelig nok kan en del av dem greie seg uten lys. Alger trives



best i fuktig jord som er utsatt for sollys (under klar plast). Det er vanligvis mest av dem vår og høst. De liker seg best ved noenlunde høg pH, og god næringstilstand, men kan også forekomme på jord med lågere pH, da spesielt grønnalger. Enkelte blågrønnalger kan fikse N fra atmosfæren og har således enklere næringsopptak enn noen andre organismer. For risdyrkingen betyr blågrønnalgene mye, da de kan fikse N som kan utnyttes av risen.

Protozoer er små dyr som beveger seg bare i de porene som har vann. De lever bl.a. på bakterier, men kan likevel være med og øke bakterieaktiviteten.

Med hensyn til virkningen på strukturen av mikrofloraen, består den antagelig i en impregnering av aggregatene, slik at de blir mer stabile mot vann.

### 3. Dyrelivet i jorda.

I jorda er det en rekke dyr - fra moldvarp til insektlarver - som graver ut ganger og blander det organiske materialet med mineralmaterialet ved å la det gå gjennom fordøyelseskanalen. Blant alle disse dyrene finnes det noen som gjør skade på kulturplanter. Men flertallet må sies å være til nytte ved sitt bidrag til omsetningen av organisk materiale. Tilstrekkelig planterester, grønn gjødsel, etc. og spesielt materiale som er rikt på N fører til rikt dyreliv av denne typen.

Meitemarken er blant de mest nyttige av jorddyrene. Etter sveitsiske undersøkelser skal meitemarken flytte 2-9 tonn jord pr. dekar og år. Det er oppgitt at det kan finnes 40 000 meitemark pr. dekar (Anerud, Julin). I tarmen hos meitemark er det ca. 1000 ganger mer bakterier enn i jorda omkring. Meitemarken er en bevegelig N-reserve, og mengden av N som stammer fra døde meitemark (4 av 5 dør hvert år) skulle utgjøre 1-2 kg pr. dekar. Vektmengden av meitemark er funnet å variere innen vide grenser, 20-120 kg pr. dekar og innholdet av N mellom 1,5 og 2,0 %.

Uhlen fant i norske forsøk at virkningen av meitemark var en gjødselvirkning av død meitemark. Andersson har funnet at mange

av de djupe røttene følger markgangene i leire.

Meitemarken liker seg ikke i sur jord. En av fordelene av kalking er at meitemarken trives bedre i basisk miljø (Hénin). De er ømtålige overfor tørke, men liker seg heller ikke i mett jord. Ved siden av meitemarken må en regne tusenbein, springhaler og enkelte insektlarver og insekter for "nyttedyr".

I et omløp med eng hviler jorda, det blir tid for de biologiske faktorene å utvikle en gunstig og stabil struktur. I motsetning har vi så den årlige jordarbeiding som undertrykker denne øvolusjonen. Ved arbeiding blir en del av dyrelivet i jorda overlatt til sine naturlige fiender, f.eks. fuglene og uttørking. På den annen side skal en ikke glemme at god gjennomlufting ved arbeiding kan være til hjelp ved omsetningen av organisk materiale.

#### 4. Det organiske materialet og den biologiske aktivitet.

Forandringene av det organiske materialet er svært nær knyttet til miljøet i jorda. Hvis jorda har god luftveksling, lukter det ikke i det hele tatt eller svakt av mugg.

En endring i miljøet kan vi ha ved sterkere pakking av jorda, da er det soppene som overtar omsetningen. Når så miljøet blir mer reduserende, lukter det først silo - deretter av gjødsel. Med mer reduserende betingelser begynner det å lukte av gjørme og endelig av svovelvannstoff. I de to siste tilfelle er det et dårlig miljø for plantevekst. Det kan skyldes de økende masser av halm som blir pløyd ned i tett jord, og det er ikke sjelden å se gulning av åkeren i disse tilfellene (Hénin).

Det forekommer ofte i svært fuktig jord at en kan finne soner med blågrå farge, såkalt gley, helst i nærheten av plogsålen eller nedpløyd organisk materiale. I sprekkene eller rundt unge røtter kan en samtidig se rustfarge. Dette fenomenet kan observeres i laboratoriet hvis en først har satt i gang gjæring (omsetning) under gunstige forhold i en jordprøve - og så senker prøven ned i vann. (Betrémieux.) Etter noen dager utvikler det seg blå farge som skyldes transformering av valensene for

jern og mangan (3, 4) til valensen 2 - en har altså hatt en reduksjon. Hvis en finner rust under unge røtter, er det et tegn på at det har vært kvelningsfornemmelser i den første del av veksten.

Ved kjemisk reaksjon kan en påvise reduksjonsfenomener. En tilfører noen dråper med 1/10 n HCl og noen dråper ferricyanur. Det vil utvikle seg en sterk blå farge. Hvis derimot jernet er oksydert, gir sulfo-cyanat en rød farge. I begge tilfelle er det best å se etter den øyeblikkelige reaksjon.

I reduserende miljø må en regne med at det dannes stoffer som er giftige for planteveksten. Det er imidlertid ingen grunn til å anta at  $Fe^{++}$  er giftig for planteveksten (Hénin).

Enkelte sprøytemidler har en helt annen virkning, idet de kan virke til å utrydde enkelte nyttige medlemmer av dyrelivet i jorda. På dette området foreligger det ennå lite av undersøkelser, men det er spesiell grunn til å ha oppmerksomheten vendt mot de midlene som brukes mot jordboende insektlarver, evt. også spiregifter.

## 5. Midler for jordforbedring - strukturbyggere.

### a. Uorganiske stoffer.

Kalk har fra gammelt vært holdt for et fysisk jordforbedringsmiddel. Virkningen av kalk på strukturen er helst indirekte ved at pH-stigning innen visse grenser fører til økende biologisk aktivitet. Bakterier og meitemark blir stimulert. Stoffskifteprodukter fra smålivet i jorda fungerer som bindemidler, og virker dermed aggregerende. Det er videre funnet at en del humusstoffer har større aggregerende virkning ved nøytral enn ved sur reaksjon. Dessuten kan sterk natriumholdig jord, som vanligvis har en uheldig struktur, forbedres ved at kalsium i kalken erstatter natrium i jorda ved ombyttingsreaksjoner. I enkelte andre land hevdes det at strukturen i stiv leirjord kan forbedres ved bruk av svært store kalkmengder (1,0-2,0 tonn brent kalk pr. dekar). I det store og hele er det slik at alt som kan fremme livs-

virksomheten i jorda, vil virke til å bygge opp strukturen. Store avlinger gir alltid mer rester, både av overjordiske og underjordiske plantedeler. Et kraftig rotsystem "åpner" jorda nedover, og dermed blir den bedre ventilert. De fleste gjødselslag vil derfor gi en indirekte bedring av strukturen. Utenlandske forsøk viser dessuten at fosfater kan virke direkte inn på aggregering, og at kalium kan hindre svelling og krymping av enkelte glimmerholdige mineraler. Kvelstoffet er nødvendig for proteinsyntesen hos alle organismer. Omsetningen av N-fattig materiale vil gå langsomt hvis det ikke gis tilskudd av N-gjødsel. Dessuten går N inn i de deler av de stoffskifteprodukter som har aggregerende virkning.

Jernholdige salter har i enkelte tilfelle hatt evne til å forbedre strukturen.

Treverdig jern er den virksomme komponenten i flotal som har forbedret strukturen på leirer med alkalisk reaksjon. I jorda skjer en omdanning til jernhydroksyd, som har aggregerende virkning. Aluminiums- og manganhydroksyder har også aggregerende virkning. Aurhelle er et eksempel på hvor sterkt disse tre stoffene kan kitte partikler sammen under visse forhold. For å løse opp "jernaureller", er det brukt gips.

Mange silikater, blant dem leire, har evne til å binde sammen strukturelementer. I humusfri sand er leire et jordbefordringsmiddel, fordi det gir bedre fysiske og kjemiske egenskaper. Blant disse egenskapene kan nevnes større evne til å lagre vann og næringsstoffer. Innblanding av leire på myr gir et sterkere jordskjelett og dermed større bæreevne, videre bedre varmelednings- evne, slik at myra varmes opp raskere om våren.

Sand har enkeltkornstruktur, men kan likevel forbedre de fysiske forhold i myr ved å gi et sterkere jordskjelett og bedre varme- forhold. Derimot har ikke sandkjøring på leire betydning i andre tilfelle enn når den blir kjørt på i så store mengder at en kan snakke om et helt nytt matjordlag.

## b. Organiske stoffer.

Mange organiske sambindinger kan virke som bindemidler mellom strukturelementer. I matjorda har en del av de organiske sambindingene inngått en forholdsvis varig forbindelse med leirpartiklene. Vi kan snakke om et leirhumuskompleks. Slike komplekser er forholdsvis stabile. En del humusforbindelser har kortere levetid. Hvis det ikke kommer til nye råstoffer, vil mengden av denne humustypen, og dens betydning for strukturen, avta. En jamn tilgang på lett omsettbart organisk materiale er derfor viktig for å vedlikeholde en stabil grynstruktur.

Moldrik matjord og moldjord er de beste jordforbedringsmidler vi har, fordi en stor del av humusforbindelsene der er av varig natur.

Ved moldtilførsel til humusfattig leir- eller sandjord, vil disse to jordtypene nærme seg mot hverandre i egenskaper. Leira blir lettere å arbeide og får mer av grovporer, mens sanden får mer av små porer og dermed større lagerkapasitet for vann.

Kompost som er lagret og godt omsatt under rikelig lufttilgang og N-tilførsel og ved nøytral reaksjon, virker i det store og hele som mold, det vil si den kan gi en forholdsvis varig virkning. Derimot må en stille seg noe tvilende til diverse stoffer, som i dag selges under navn av kompost, men som i virkeligheten bare er blandinger av lite omsatt torvstrø og handelsgjødsel.

Husdyrgjødsel som fysisk jordforbedringsmiddel virker ved å stimulere smålivet i jorda gjennom tilførsel av råstoffer som kan omsettes til bindemidler. Videre kan den virke ved å stimulere smålivet i jorda gjennom tilførsel av råstoffer som kan omsettes til bindemidler. Videre kan den virke indirekte ved å gi større avlinger. Men ulikt innhold av N kan gi ulike resultater, bl.a. fordi mikroorganismene trenger N til sin livsvirksomhet.

Torvstrø og halm kan etter omsetning i jorda gi noenlunde samme virkning som kompost. En må huske at disse stoffene i enda høyere grad enn husdyrgjødsel må betraktes som råstoffer for

strukturoppbygging, og at torvstrø vanligvis har sur reaksjon og lite N.

For å få en raskere omsetning av halm allerede om høsten, burde den kuttes opp og blandes inn i et tynt jordlag ved hjelp av freser, skålharv eller andre passende redskaper. Dette er bare mulig ved tidlig høsting av kornet.

Sagflis, kutterspon og andre vedrester kan muligens på lang sikt omsettes til stoffer som virker gunstig på strukturen, særlig på jord med gode luft- og varmekforhold (sandjord). Som en grunnregel har det vært hevdet at det trengs et tilskudd av ca. 7 kg N pr. tonn tørrstoff for slike materialer. Jordas egen evne til å frigjøre N og den aktuelle gjødslingsstyrken må tas i betraktning.

Grønngjødsel er lett omsettbar og gir en rask, men ofte midlertidig strukturforbedring. Grønngjødsel av belgplanter tilfører jorda mye N, og derfor er det vanskelig å skille gjødselvirkningen og den fysiske virkning fra hverandre. Av vekster som er aktuelle for undersåing i korn eller for såing etter tidligpoteter eller tidlige grønnsaker, er kanskje ett-årig raigras det som har mest for seg. Ellers har tidligkløver, sneglebelg og lupiner vært prøvd. Felles for alle belgvekster er at en må ta spesielle hensyn ved bruk av sprøytemidler. Såmengder på ca. 1 kg pr. dekar for de småfrøete vekstene skulle greie seg. På stiv leirjord har det ofte vært vanskelig å få tidligkløver og sneglebelg til å spire om våren. Grønngjødsel er også brukt i frukthager. Siden frukthagene i mange tilfelle ligger på bakkete jord, kan slike vekster være av betydning for å binde jorda i høst- og vintertida. På slike steder kan det være aktuelt med såing på ettersommeren og nedpløying neste vår. Det har nemlig vist seg at frostfaren ved fruktblomstring er mindre over åpen jord enn over grasdekke.

Syntetiske jordforbedringsmidler (f.eks. krilium), kan forbedre jordstrukturen, men er for dyre for vanlig jordbruksdrift.

## 6. Midler for jordforbedring -- dekkmidler.

Dekking med husdyrgjødsel, halm, torvstrø, sagflis, papir beskytter overflaten av jorda. Disse midlene kan komme til nytte seinere, som råstoffer for smålivet i jorda og dermed bygge opp strukturen på lang sikt. Dekking av overflaten med disse midlene senker stort sett jordtemperaturen og dermed fordampingen, ved siden av den rent mekaniske beskyttelse mot slagregn.

Plastfilm (folie) har fått stor betydning i det seinere, dels som solfanger, dels som rent dekkmiddel. Svart plast brukt som dekkmiddel hindrer ugraset i å spire og beskytter mot fordamping. Klar plast svekker ikke ugraset, men hindrer fordamping fra bakken. Jordtemperaturen stiger ved dekking med klar plast, derimot ikke ved svart plast.

Petroleumsemulsjoner blir sprøytet på jordoverflaten etter såing. Disse emulsjonene har mørk farge, og da det er direkte kontakt med jorda, blir en større del av solenergien absorbert, og jordtemperaturen øker. Det dannes en film på overflaten som til en viss grad kan hindre fordamping direkte fra bakken. Videre kan slik film hindre vind- og vannerosjon.

I utenlandsk litteratur brukes ordet mulch om midler som brukes på overflaten. Mulching er navnet på en spesiell kultiveringsform som brukes i tørkestrøk. Jorda pløyes ikke, men plantestene blir arbeidd inn i et tynt overflatelag.

### Norske forsøk med jordforbedringsmidler.

En kan få et visst uttrykk for jordforbedringsmidlenes betydning ved å anlegge forsøk på "naken" jord, det vil si på jord hvor de øvre lag, medregnet matjordlaget, er fjernet. En kan naturligvis reise tvil om det er riktig å bruke ordet jord om en slik vokseplass.

Institutt for jordkultur har anlagt en del forsøk på bulldozerplanert jord, for det meste leirjord. Tabellen viser noen resultater.

Avlinger i kg havre pr. dekar etter ulike jordforbedringsmidler på bulldozerplanert jord. Middel av 6 høstinger på ulike felter.

<u>Behandling</u>	<u>Avling</u>
Uten matjord	198
Med matjord	338 (+140)
Uten husdyrgjødsel	206
Med 4 tonn husdyrgjødsel pr. dekar	238 (+ 32)
Uten halm	177
Med 300-400 kg halm pr. dekar på overflaten etter såing	213 (+ 36)

Tabellen viser at matjorda er den viktigste faktoren, noe som ikke akkurat er uventet. Av andre resultater kan nevnes at dekking med halm har vært litt bedre enn nedpløying, og at kalking ikke har gitt noen virkning på avlingene. På disse feltene, som unntatt ett, lå på leirjord, varierte pH mellom 6,5 og 7,5.

Institutt for jordkultur har også hatt et langvarig fastliggende forsøk med en del jordforbedringsmidler på gammel kulturjord (moldholdig, middels stiv leirjord).

Måling av vannstabile aggregater viste at både torvstrø og krilium økte mengden av aggregater større enn 1 mm. Disse utslagene var ikke målbare etter tredje forsøksår. Siden både flotal og krilium er for dyre for jordbruket, er torvstrø det eneste av disse som kan ha noen praktisk betydning.

#### 7. Vekstfølge, etc.

Virkningene av ulike vekstfølger på jordstrukturen henger sammen med følgende faktorer:

- a. Klima.
- b. Prosentdel av åpen jord, både over tid og areal.
- c. Strukturskader ved jordarbeiding og transport.
- d. Risiko for vekstfølgesykdommer.

Med hensyn til klimaet har vi både jordtemperaturen og mengden av intense regnvær ( total regnenergi x max. 30 min. regnintensitet). Med stigende jordtemperatur øker oksydasjonen av det



organiske materialet, og dette, sammen med åpen jord og jordarbeiding, øker nedbrytingen av det organiske materialet.

Nedbrytingen av det mest lettomsettelige organiske materialet øker sannsynligvis mest.

Når prosentdelen av det åpne jordarealet øker, vil risikoen for strukturskader ved kjøring og jordarbeiding øke. Arbeidet blir konsentrert høst og vår. På denne tida er risikoen for strukturskade størst p.g.a. stor jordfuktighet. Videre blir erosjonsfaren langt større. Når det blir mer av vekstfølgesykdommer, vil avlingene gå ned, og det blir mindre mulighet for å få god rotutvikling og store mengder av planterester. Dette vil altså igjen virke inn på humusmengde og humuskvalitet.

Ugraset er ikke tatt med i punktene ovenfor. En risikerer naturligvis at ugrasmengden (bl.a. av kveke) øker ved åpen drift, men her må en huske at ugraset også er en leverandør av råstoff til humusdannelsen, og at ugraset også har røtter som kan holde jorda åpen.

Hvis en kan opprettholde avlingene ved ensidig drift, er det store muligheter for at også strukturen kan vedlikeholdes, spesielt i såvidt kjølig klima som i Norge, hvor nedbryting av organisk materiale går forholdsvis langsomt.

Gjødslingen spiller her en stor rolle, Her må en imidlertid være klar over at sjøl om gjødsling med f.eks. N kan opprettholde en god struktur, er det ikke sikkert at den kan opprettholde avlingene av vedkommende kulturplante. Hvis vi har en bestand av kveke og korn, vil det nok bli stigende totalavling ved stigende N-gjødsling, men kveka lar seg neppe gjødsles bort.

Til slutt noen tall fra Morrow Plots i Illinois - et omløpsforsøk startet 1888.

Ledd	0	Behandling		
		LNPK 1955-59	MLP 1904-59	MLP 1904-59 NPK 1955-59
<u>Mais-mais</u>				
Mais, bu/acre	33	98	87	106
<u>Mais-havre</u>				
Mais, bu/acre	46	104	109	98
Havre, "	41	79	91	93
<u>Mais-havre-fløver</u>				
Mais, bu/acre	63	124	120	113
Havre, "	41	81	84	72
Høy, "	0,3	-	4,3	4,3

LNPK = kalk, N.P.K.

MLP = husdyrgjødsel, kalk, P.

Det er nokså tydelig at på den andre behandlingen som ikke fikk noe gjødsel fram til 1955, har gjødslingen i 1955-59 faktisk vært tilstrekkelig til å bringe avlingene opp på samme nivå som for de ledd som hadde fått husdyrgjødsel, kalk og fosfat hele tida, men virkningen <sup>av/</sup> omløpet er likevel ikke sjaltet ut. Etter meldingen skyldtes det tørkeåret 1959, da avlingene sviktet ved åpen åkerdrift.

Fra de samme omløpsrutene foreligger det tall for innhold av org. materiale.

Omløp	Gjødsling	C %	Aggregater, 0,5mm Volumvekt	
Mais-mais	0	1,74	8,0	1,37
	MLP	2,09	6,2	1,31
Mais-havre	0	2,14	5,7	1,33
	MLP	2,44	7,4	1,24
Mais-havre- rødkløver	0	2,28	11,0	1,31
	MLP	3,35	13,2	1,21
Engrap	0	3,20	50,0	1,28

X. Pakking - Konsolidering - Setning.

A. Definisjon.

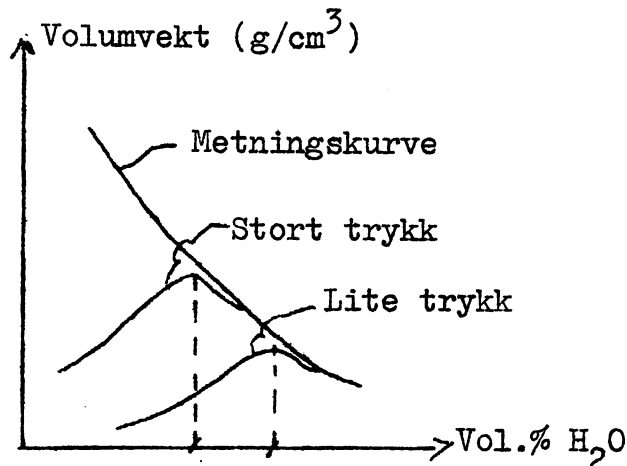
Med pakking menes vanligvis en økning i jordas volumvekt ved hjelp av dynamisk belastning.

Med konsolidering menes en økning i jordas volumvekt ved hjelp av statisk belastning over et lengre tidsrom. I en mettet kohesjonsjord drives vann ut av porene ved konsolidering. Ved pakking drives det luft ut av porene.

Pakking øker volumvekta og dermed skjærfasthet og bæreevne.

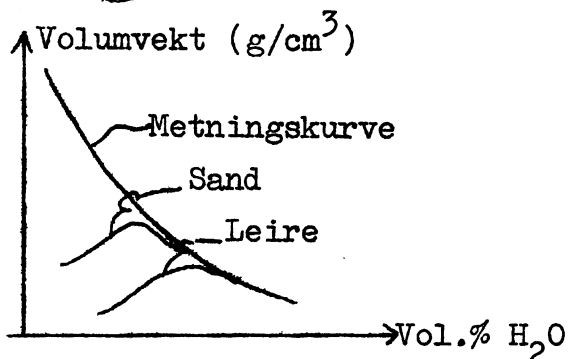
Med setning menes forandringen i tykkelse av et visst jordlag under påvirkning av et bestemt trykk.

B. Pakking.



Figuren viser at det er en optimal fuktighet for pakking, og at denne nås tidligere ved stort enn ved lite trykk. Ved optimal fuktighet er volumvekta på det høyeste. En videre økning i vanninnhold fører til mindre volumvekt. Dette kommer

av at vannet har mindre tetthet enn det faste stoffet i jorda. Da all luft er drevet ut av porene allerede ved optimalpunktet, kan ikke volumvekta økes videre, uten at vannet får slippe unna.



Figuren viser at sand kan pakkes til større volumvekt enn leire, og at maksimal volumvekt hører sammen med et lågere vanninnhold i sand enn i leire.

### Pakking

- 1) øker volumvekta av jorda og samtidig fasthet og bæreevne.
- 2) svekker tendensen til "setning" under gjentatt belastning.
- 3) fører til mindre hydraulisk vannledningsevne, i visse tilfelle bedre kapillære ledningsevne, mindre luftveksling, bedre varmeledningsevne.

Friksjonsjord (sandjord) kan pakkes effektivt med vibrering, dessuten av tromler, gummihjul etc.

Jord med både friksjon og kohesjon kan pakkes av tromler, gummihjul etc.

### C. Setning.

Hvis H er den opprinnelige tykkelse av jordlaget,  $\Delta p$  er trykkforandringen og  $M_V$  = kompresjonsmodulus for vedkommende materiale, kan setningen uttrykkes slik (Jumikis):

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{1}{M_V} \cdot \Delta p$$

Jordmateriale	$M_V$ (kp/cm <sup>2</sup> ) for <u>mettet jord</u>
Torvmyr	1 - 5
Leire, plastisk	5 - 40
" , middels hard	40 - 150
Sand, løs	100 - 200
" , tett	500 - 800
Grus	1000 - 2000
Stein med sprekker	1500 - 30 000
" , hel	> 30 000

Vi ser her at myr og plastisk leire vil deformeres sterkt under et visst trykk. Legg merke til at disse tallene gjelder mettet jord.

I våt leirjord synker traktorer og skurtreskere ofte ned på plogsålen (ikke omrørt leirjord).

## XI. Samspeillet mellom maskiner og jord.

Etter hesten blir det avtrykk av hovene, etter traktor og alle redskaper på hjul får vi sammenhengende spor. Trykket av en hestefot kan være større enn trykket av et hjul, men det skal godt gjøres at hele jordet blir tråkket på. I det maskinelle jordbruket må en regne at hjulsporene gjennomsnittlig dekker jorda minst 2-3 ganger, og ved dyrking av rotvekster under full mekanisering opp til 6-7 ganger (J. Eriksson, I. Håkonsson, H. Frese). Enga har tidligere blitt regnet som hvileperiode for jorda. En fullmekanisert grashøsting innebærer imidlertid fare for mye kjøring. Hele "følget" omfatter 8-12 hjul for høsting og transport på en bredde av ca. 1,0 m grasslått. Brukes lastebil til transporten, kan det naturligvis bli verre p.g.a. stort marktrykk.

En driftsform som i dag er spesielt utsatt, er kontrakt dyrking av grønnsaker (f.eks. konserverter) eller gras. Firmaene bestemmer når det skal høstes. De tar ikke hensyn til jordfuktigheten uten at maskinene står fast.

### A. Overføring av kraft fra motor til jord. actio = reactio

Etter loven om kraft og reaksjonskraft kan vi ikke få utnyttet mere trekk-kraft i kjøretretningen enn reaksjonskraften fra jorda. Vi kan kalle denne reaksjonskraften fra jorda for jordas skyvekraft. Størrelsen av denne kraften kan regnes ut ved hjelp av Coulombs lov:

$$s = p \tan v + c$$

1) Kohesjonsjord (våt leire)

$$S = c \cdot A$$

S = skyvekraft

A = areal av kontaktflate maskin-jord.

2) Friksjonsjord (tørr sand)

$$S = p \cdot A \cdot \tan v = (W/A) \cdot A \cdot \tan v = W \cdot \tan v$$

W = last

3) Middels jord

$$S = W \tan v + c \cdot A$$

Coulombs lov:

$$s = p \tan v + c$$

I en ren kohesjonsjord er det kohesjonen og størrelsen av kontaktarealet mellom jord og bæreflate på maskinen som bestemmer størrelsen av skyvekraften. I svært våt leire går kohesjonen mot null, det blir omtrent som å kjøre i grumsete vann.

Vi kan øke skyvekraften ved å øke størrelsen av kontaktarealet. Her ser vi uten videre den store fordelene med belter som bæreflater i kohesjonsjord. Vi ser også at på slik jord har det ingen betydning å øke lasten (hjullasten) ved f.eks. overføring av tyngde gjennom det hydrauliske systemet på en hjultraktor.

I en ren friksjonsjord kan skyvekraften økes proporsjonalt med belastningen. Traktorkonstruktørene har utnyttet dette ved

- a) å øke tyngden av traktoren.
- b) å overføre den vertikale jordmotstanden fra redskapet eller tyngden av redskapet til drivhjulene på traktoren.

I en middels jord vil det være både kohesjon og friksjon. (Friksjonsvinkelen er ofte  $30-40^\circ$  i en sandjord eller tørr aggregert leirjord, og  $\tan v$  blir derfor omkring 0,7). Her kan vi altså øke skyvekraften både ved belastning og ved å gjøre kontaktflatene større. Kohesjonen er sterkt avhengig av vanninnholdet og det kan derfor ikke gis noen middelvei for den.

## B. Flyteevne.

Vi har tidligere sett på bæreevnen hos jorda. Den tilsvarende egenskap hos maskinene kan vi kalle flyteevne. Ligningen for bærekraften,  $W$ , var:

$$W = A (cN_c + \gamma z N_q + \frac{1}{2} \gamma b N_\gamma)$$

hvor  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  var faktorer avhengig av jordas friksjonsvinkel.

### 1. Ingen nedsynkning av bæreflatene.

Her har vi  $z = 0$ , og

$$W/A = p = cN_c + \frac{1}{2} \gamma b N$$

$$p = \text{marktrykket (kp/cm}^2\text{, p.s.i.)}$$

Generelt har vi at

$$\text{marktrykk} = \text{hjullast/kontaktflate.}$$

Tar vi så for oss to hovedtyper av jord, har vi:

a) friksjonsjord:  $W = \frac{1}{2} Ab\gamma N_y$

b) kohesjonsjord:  $W = AcN_c$

Dette sier oss at i en friksjonsjord er flyteevnen ikke bare avhengig av volumvekt og kontaktflate, men også av bredden på kontaktflaten. I en kohesjonsjord er flyteevnen avhengig av kontaktflaten (og av kohesjonen). Setter vi nemlig friksjonen = 0, er  $N_c = 8$  (etter Terzaghi), og vi får

$$W = 8 Ac, \text{ eller}$$

$$p = 8c.$$

I kohesjonsjorder er marktrykket et direkte mål for flyteevnen, men i friksjonsjord må vi også ha med bredden på bæreflaten. Den problemstillingen vi hittil har tatt for oss, er inidlertid ikke særlig aktuell i jordbruket. Vi har nemlig forutsatt at bæreflaten ikke skal synke ned.

La oss ta et par eksempler for å forstå virkningene av marktrykk, bredde på bæreflate, og jordforhold, under forutsetning av at nedsynkningen = 0.

a. Friksjonsjord.

$v = 30^\circ$ ,  $\gamma = 1,5 \text{ g/cm}^3$ ,  $N_y$  (for  $v = 30^\circ$ ) = 20, belter med  $b = 25 \text{ cm}$  bredde som bæreflate.

Dessuten forutsetter vi ingen nedsynking,  $z = 0$ , og ingen kohesjon,  $c = 0$ .

Da har vi:

$$p = W/A = \frac{1}{2} \gamma \cdot b N_y = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 25 \cdot 20$$

$$= 375 \text{ ): } 375 \text{ g/cm}^2, \text{ eller}$$

$$p \text{ tilnærmet lik } 0,4 \text{ kp/cm}^2$$

Dette sier oss at vi kan kjøre trygt med et marktrykk mindre eller lik  $0,4 \text{ kp/cm}^2$ .

Øker vi nå bredden på beltene til 50 cm, øker p til  $0,8 \text{ kp/cm}^2$ , og vi kan øke lasten til marktrykket blir  $0,8 \text{ kp/cm}^2$ . Videre ser vi at det er mulig å bruke hjul, da trykk på  $0,8 \text{ kp/cm}^2$  er ganske normalt under traktorhjul.

b) Kohesjonsjord.

$$v = 0^{\circ}, N_c \text{ (for } v = 0^{\circ}) = 8$$

Da har vi

$$p = W/A = cN_c = 8c$$

Forutsetter vi nå en kohesjon på 0,01 kp/cm<sup>2</sup> (våt leire), ser vi at

$$p = 8 \cdot 0,01 = \underline{0,08 \text{ kp/cm}^2}$$

Et så lågt trykk kan normalt ikke skaffes av hjul. Det ville kreve en uhørt stor hjuldimensjon for traktorer. Belter er derfor den eneste løsning i dette tilfelle, hvis kjøretøyet ikke skal synke ned!

2. Nedsynkning av bæreflatene.

I dette tilfelle gjelder den ligningen for nedsynkning som vi har sett på tidligere (som egentlig gjelder en plan, rektangulær bæreflate):

$$z = \frac{p}{\left(\frac{k_c}{b} + k_v\right)^{\frac{1}{n}}}$$

hvor  $z$  er nedsynkningen,  $p$  = marktrykket, og  $b$  bredden av bæreflaten.

$k_c$  og  $k_v$  er faktorer som henger sammen med henholdsvis kohesjon og friksjon, mens  $n$  er en eksponent som stort sett ligger mellom  $\frac{1}{2}$  og 1. De lågeste verdiene gjelder høg fuktighet eller låg tetthet, altså f.eks. svært fuktig leirjord eller løs snø. Med hensyn til snø gjelder alle de ligningene vi hittil har gjennomgått. Vi må bare huske at snø må betraktes som kohesjonsmedium (bortsett fra kald, kornet snø). □

Vi får her et ganske annet bilde av flyteevnen enn ved å betrakte et kjøretøy som kan gå på overflaten. Vi ser blant annet at en økning i bredden ( $b$ ) under forhold med samme trykk (samme areal av bæreflaten) vil gi større nedsynkning. Det gjelder altså her at lengden bør være stor i forhold til bredden.

Alt i alt går det fram av dette at flyteevne bestemmes ikke av hjullast og anleggsflate alene, men like mye av jordas egenskaper. Visse forhold vil være umulige å klare for hjultraktorer uten en ganske sterk nedsynkning, av og til helt ned på plogsålen.



Traktorer med gummihjul er tilpasset til sandjord, men ikke til vanskelige forhold i leirjord eller snø.

### C. Rullemotstand.

Motstanden mot bevegelsen av et kjøretøy består av tre komponenter, kraft til pakking av jorda, kraft til skyving (bulldosing) av masse foran bæreflatene, og kraft til deformering av dekkene.

#### 1. Pakkingsmotstand (Rp).

Ifølge Bekker er pakkingsmotstanden for en rektangulær bæreflate tilnærmet

$$R_p = \frac{1}{(n+1)(k_c + bk_v)} \cdot \left(\frac{W}{l}\right)^{\frac{n+1}{n}}$$

hvor  $l$ ,  $b$  = lengde, bredde av bæreflatene  $W$  = last,  $k_v$  og  $k_c$  faktorer som er avhengig av friksjon og kohesjon hos jorda, og  $n$  en eksponent som vanligvis ligger mellom 0,5 og 1,0.

Setter vi for enkelthets skyld  $n = 1$  (tørr sand) har vi

$$R_p = \frac{1}{2(k_c + bk_v)} \cdot \left(\frac{W}{l}\right)^2$$

Vi ser at pakkingsmotstanden avtar med kvadratet på lengden av bæreflatene. Bredden forekommer bare i 1. potens. Vi ser også at pakkingsmotstanden er proporsjonal med kvadratet på lasten.

#### 2. Bulldosing-motstand.

Bulldosingsmotstanden øker med nedsynkning og bredde på bæreflatene. For en beltetraktor er det mindre bulldosing-motstand når det brukes lange, smale belter, enn korte og brede. Smale hjul med stor diameter har på tilsvarende vis mindre bulldoseringsmotstand enn brede og låge hjul med samme anleggsflate. Foruten nedsynkningen og bredden på bæreflatene betyr også "angrepsvinkelen" noe. Dette er vinkelen mellom markplanet og tangenten til hjulet i det punkt der hjulet først treffer jorda. Når nedsynkningen = hjulradien, blir angrepsvinkelen  $90^\circ$ .

### 3. Deformeringsmotstand for luftfylte gummidekk.

Generelt har vi at marktrykket ( $p_m$ ) er lik summen av lufttrykket ( $p_l$ ) og et annet trykk, ( $p_s$ ), som skyldes stivheten av dekket.

$$p_m = p_l + p_s \quad (p_l = \text{lufttrykk i dekket})$$

$p_s$  avhenger av tykkelse av veggene (antall lag), materiale etc. For et tynt, elastisk dekk som er i ro på fast underlag (betong), er  $p_m = p_l$ , altså marktrykket = lufttrykket i dekket. Belastning fører her til at dekket flater ut, slik at anleggsflaten blir større.

Hvis jorda er sterk nok til å øve et mottrykk,  $p_m = p_l + p_s$ , vil dekket bæres oppe, og det har da en flat del, som er i kontakt med bakken, mens resten er rundt. Hvis  $p_l + p_s$  er større enn det maksimale mottrykket jorda kan skaffe, vil dekket holde seg nesten rundt (som et stivt stålhjul) og synker ned.

Den rullemotstanden som skyldes dekket, avtar med en potens av lufttrykket,  $p_l$ . Valkingen (deformeringen) går over til varme.

Hvordan er det så med marktrykket ved forskjellig belastning.

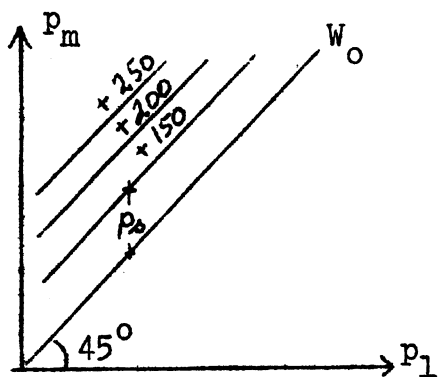
Vi har tidligere definert marktrykket:

$$p_m = W/A$$

hvor  $W$  = hjullast og  $A$  = kontaktareal dekk/jord.

Nå har vi også sett på marktrykket som funksjon av lufttrykket i dekket,  $p_l$ , og stivheten av dekket ( $p_s$ )

$$p_m = p_l + p_s.$$



Ved forsøk har det vist seg at marktrykket stiger med belastningen hvis det er noe stivhet i dekket.

For en og samme belastning er det en stigning på  $45^\circ$  for marktrykket som funksjon av lufttrykket i dekket. Kurver for ulik belastning er praktisk talt parallelle, slik

at en økning i hjullasten gir et konstant tillegg i marktrykket (Søhne). Størrelsen av dette tillegget er helt avhengig av stivheten i dekket. Tillegget blir naturligvis mest merkbart ved

låge trykk. Som eksempel på hvor stort tillegget kan være, skal nevnes et eksempel for et 7,00 x 16" dekk (Bekker):

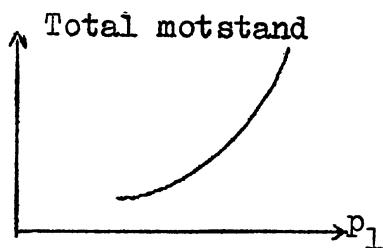
Belastning, kp	$p_s$ , kp/cm <sup>2</sup>
0	0
135	0,12
225	0,21
315	0,27

#### 4. Total rullemtstand.

Den totale rullemtstanden består av komponentene pakking, bulldosing og dekk-deforming.

Tar vi for oss en traktor med belter, bør for det første arealet av beltene være stort nok, dertil bør lengden være stor i forhold til bredden, hvis motstanden skal bli minst mulig. En traktor med gummihjul kan ikke fylle alle krav, fordi hjulene blir svært store, hvis motstanden skal forminskes like mye som for en beltetraktor. Men gjennomgående er det en fordel at hjulene har forholdsvis stor diameter sammenlignet med bredden (under forutsetning av samme anleggsflate).

Lufttrykket i dekkene har en avgjørende betydning. Det viser



seg nemlig at den totale rullemtstanden stiger med en potens av lufttrykket i dekkene.

I leirjord har det vist seg at under forutsetning av likt lufttrykk, stiger

motstanden med belastningen. Videre har det vist seg at under vanskelige forhold (stor fuktighet) må lufttrykket senkes under 0,5 kp/cm<sup>2</sup> for at det skal ha noen praktisk effekt. Hvis hjul-lasten og stivheten i dekket er stor, kan imidlertid dette være ugjØrlig. En spesiell oppmerksomhet må rettes mot hjul på tilhengere. På norske tilhengere er hjulene i mange tilfelle latterlig små, slik at de får stor bulldosing-motstand under trekk.

D. Mer om overføring av trekk-kraft fra motor - jord.

Vi har:

$$T = S - R, \text{ hvor}$$

T = trekk-kraft = kraft på trekk-kroken.

S = jordas skyvekraft (reaksjonskraft)

R = rullemotstand

T er den krafta som kan overføres ved hjelp av trekk-kroken.

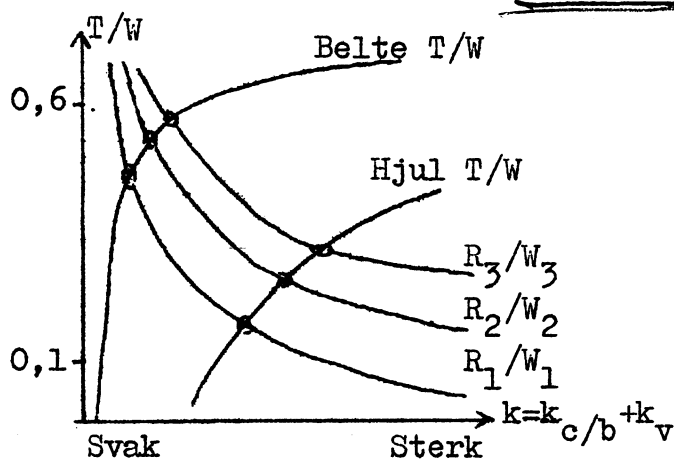
S er avhengig av friksjon og kohesjon i underlaget, og R av pakking under bæreflatene, bulldosing og dekk-deformering.

Hvis  $R = S$ , kan vi ikke få noen bevegelse framover.

For å eliminere effekten av tyngden av traktoren, kan vi dividere med vekten og får

$$\frac{T}{W} = \frac{S - R}{W},$$

et tall som vi kan kalle trekk-koeffisient.



Figuren viser  $T/W$  og  $R/W$  som funksjon av jordas  $k$ -verdi (styrke) ved trekk av ulike tilhengere.

Det viser seg at ved små  $k$ -verdier har traktoren for liten trekk-kraft til å dra noen av tilhengerne. Ved riktig små  $k$ -verdier kan den ikke

engang dra seg sjøl. For en hjultraktor vil det være et forholdsvis stort område, hvor traktoren ikke greier å dra noen av de aktuelle tilhengere.

Forbedring av trekkeevnen kan skje ved

- øke S (reaksjons-, eller skyvekraft)
- minske R (rullemotstand)

a) Økning av S er i en kohesjonsjord avhengig av å øke kontaktarealet for bæreflatene, i en friksjonsjord av å øke belastningen på bæreflatene. Videre kan en økning av forholdet høyde/bredde på ribber eller klør øke skyvekraften i leire, myr, snø.

b) Minsking av R kan skje ved å øke forholdet lengde/bredde på kontaktflatene, og ved å øke kontaktflatene i forhold til belastningen. Det siste vil i praksis si å senke marktrykket. Når det gjelder å øke lengden i forhold til bredden for en gitt kontaktflate fører dette til visse praktiske vansker. Hjul-diameteren kan ikke økes i det uendelige på en hjultraktor, og på en beltetraktor tapes noe av styreevnen når forholdet lengde/bredde blir for stort.

Så har vi forholdet med sliring. Sliring kan defineres som

$$i = 1 - v_a/v_t \text{ hvor}$$

$i$  = sliringskoeffisient

$v_a$  = aktuell hastighet

$v_t$  = teoretisk hastighet som skulle følge direkte av antall omdreiinger og belte- eller hjul-dimensjoner.

Som eksempel på hva bæreflatene betyr, kan nevnes følgende tall:

<u>Bæreflate</u>	<u>l</u>	<u>b</u>	<u>Sliring ved max. S</u>
Hjul	25"	40"	40 %
"	10"	100"	100 %
Belte	100"	10"	10 %

Dette viser hvor mye kjøreøkonomien kan være avhengig av kontaktflatens form.

Bekker har definert farbarheten,  $f$ , for en jord på følgende måte:

$$f = c + p \tan v - \frac{p^{(n+1)/n}}{l^{(n+1)/n} k^{1/n}}, \text{ hvor}$$

$p$  = marktrykk

$l$  = lengde av kontaktflate

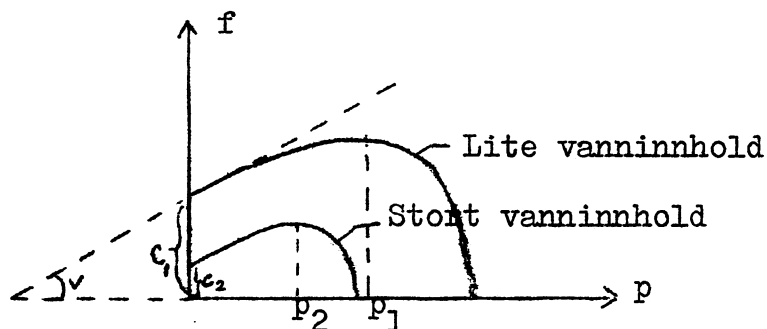
$n$  = en eksponent mellom  $\frac{1}{2}$  og 1

$k = k_c/b + k_v$  (uttrykk for jordas styrke)

Stter vi nå  $n = 1$  (tørr sand), har vi

$$f = c + p \tan v - \frac{p}{2 lk}$$

Når fradragsleddet avtar, det vil si at  $p$  avtar, eller  $l$  og  $k$  (styrken av jorda) tiltar, øker farbarheten.



Figuren viser hvordan variasjonsområdet for marktrykket øker med avtakende fuktighet, og at det er et max. i p for hver fuktighet.

## E. Maskinene og jordstrukturen.

### 1. Pakking.

Trykket under en belastet flate forplanter seg i jorda langs isobarer som går ut fra kantene av flaten og møtes midt under den. Vi får en såkalt trykk-løk. Trykket like under kontaktflaten har vi allerede vært inne på. Det har vist seg at med økende last kan trykket forplante seg lenger ned i jorda under et gummidekk med konstant lufttrykk (Søhne). Følgen av de påkjenningene jorda blir utsatt for ved trykk, kan sammenfattes slik:

- a. Reduksjon av den delen av porevolumet som skyldes de store porene. Dette betyr at det går mest ut over de porene som er fylt med luft, og som ved metning leder vann. Luftvolum og hydraulisk vannledningsevne blir altså nedsatt.
- b. Bedre kontakt mellom de enkelte strukturelementer. Dette fører til at vannfilmene blir mer sammenhengende, og dermed at den kapillære ledningsevnen kan bli større. På grunn av den bedre kontakten blir også varmeledningsevnen større - i hvert fall under metningspunktet.
- c. Jordas fasthet, og dermed bæreevnen, blir større etter pakking, i hvert fall inntil maximal pakking ved det optimale vanninnhold.
- d. Pakking ved moderat fuktighet har en viss smuldringseffekt.
- e. Pakking ut over det optimale vanninnhold, d.v.s. etter at alle porer er fylt med vann, vil ha en tendens til å ødelegge jordskjelettet. Ved stigende vanninnhold blir jorda etter hvert flytende, og den vil ikke få tilbake sin opprinnelige struktur. Det må til mange omganger med tørking-fukting, frysing-opptining,

eller biologisk aktivitet for å utvikle en struktur som plantene vil være tjent med.

f. Den pakkingen vi får i de djupere lagene er muligens minst risikabel i stiv leirjord, fordi den er dynamisk, d.v.s. den kan svulle ut igjen. Hverken sandjord eller mange slags lettere leirjord med morenekarakter kan ventes å ha denne evnen.

## 2. Sliring.

Med hensyn til nedbryting av jordskjellet er sliring vel så farlig som pakking. Aggregeringen kan bli totalt borte etter sliring i våt leirjord. I mange tilfelle trengs det ikke mer enn 30 % sliring før aggregeringen blir ødelagt.

## F. Kjøring på jorda - plantevekst.

Kjøringen med maskiner kan ha en direkte virkning på planteveksten ved at det oppstår sår i plantedekket (eng, korn ved sprøyting, poteter ved radrensing). Den indirekte virkningen henger sammen med virkningene på jordstrukturen.

### 1. Spiring.

Spiringsforholdene er vanligvis avgjørende for hvor jamnt moden en åker kan bli. Da fastheten vanligvis er større i hjulsporene enn ved siden av, vil sådybden der bli mindre, noe som vanligvis fører til en raskere spiring.

I tørr og klumpete jord blir det en viss smuldring i hjulsporene og noe bedre fuktighetsforhold. Dette kan gi atskillig bedre spiring i sporene enn mellom dem.

### 2. Rotutvikling.

Hvis kjøringen har ført til dårlig struktur ved tilklining av våt leirjord, blir det lett mye harde og store klumper ved harving. Følgen av dette er dårlig spiring og rotutvikling hos kulturplantene. De blir mer klima-ømfindtlige. Pakking av de djupere lagene kan virke hemmende på rotutvikling (Feuerlein, Frese). Dannelse av trafikksåle eller plogsåle ved konstant pløvedybde

gjennom lang tid må kunne antas å hindre rotutviklingen.

### 3. Ugraset.

Da en hardpakket jord er vanskelig å harve skikkelig, vil en del av ugraset overleve. Dette gjelder kanskje spesielt for kveke i kornåker. I visse tilfelle kan det bli en stor økning av kvekemengden i løpet av ett eneste år, hvis strukturen er blitt ødelagt, eller hvis det har vært vanskelig å få til en god harving.

### 4. Mikronæringsstoffer.

Her er det kjent at Mn-mangel sjelden forekommer i hjulspor.

5. Forsøk med traktorpakking har vært utført i mange land de senere årene. Vi nevner noen forsøk ved NLH (middels moldholdig-moldrik middels stiv leirjord.)

Klumper større enn 20 mm og deres vannstabilitet etter ulik jordbehandling. Prøvene tatt ut sommeren 1962 i 0 - 5 cm dybde.

Behandling	Prosent klumper	Prosent vannstabilitet
Ikke pakket	9	36
Kjørt hjul ved hjul før ploying 1961 (etter regnvær)	54	45
Kjørt hjul ved hjul før harving 1962 (etter opptørking)	10	36

Det viste seg i dette tilfellet at både klumpstørrelse og vannstabilitet økte ved kjøring like etter regnvær.

I et annet forsøk har virkningen på avlingene vært undersøkt gjennom flere år (midd. moldholdig - moldrik middels stiv leirjord).



Virkning av pakking og arbeiding av våt og tørr jord. Jorda løsnet med lettharv etter pakking. Forsøk ved NLH.

Behandling	Kg bygg pr. dekar		
	1961	1962	1963
Ikke pakket, harvet etter regnvær	160	151	254
x) Pakket og " " "	91	145	254
Ikke pakket, harvet etter opptørking	319	298	379
x) Pakket og " " "	284	324	375

x) Kjørt hjul ved hjul med traktor etter 2 harvinger.

Forsøket viser tydelig at kornavlingene går ned ved all slags jordbehandling når jorda ikke er godt nok opptørket, og at pakking ikke er skadelig når jorda er tørr.

I vårtida kan vi for det neste unngå kjøreskader ved å ha tålmodighet til å vente på tørt vær. Om høsten kan dette ofte være umulig. Bl.a. høsting av rotvekstene vil medføre stor mulighet for kjøreskader, men mindre ved potethøsting (tidligere høsting).

Kjøreskader kunne kanskje unngås hvis all jord var drenert så godt at det var mulig å kjøre på den 6-12 timer etter vannmetning av matjorda, uten å skade strukturen. Men dette målet vil nok ikke være lett å oppnå på leirjordene!

"

Som en sluttbemerkning kan gis følgende råd for å unngå skader på jord og avling ved traktorkjøring:

1. Best mulig drenering av jorda.
2. Unngå all unødvendig kjøring når jorda er for fuktig.
3. Tilpasning av bæreflatenes form og dimensjoner til belastning og til underlag.
4. Tilpasning av dekkdimensjoner og radavstand i radvekster.
5. Bruk av spørløser.
6. Tilpasning av lufttrykket i gummidekkene til fastheten for underlaget.

## XII. Jordarbeiding.

### A. Innledning.

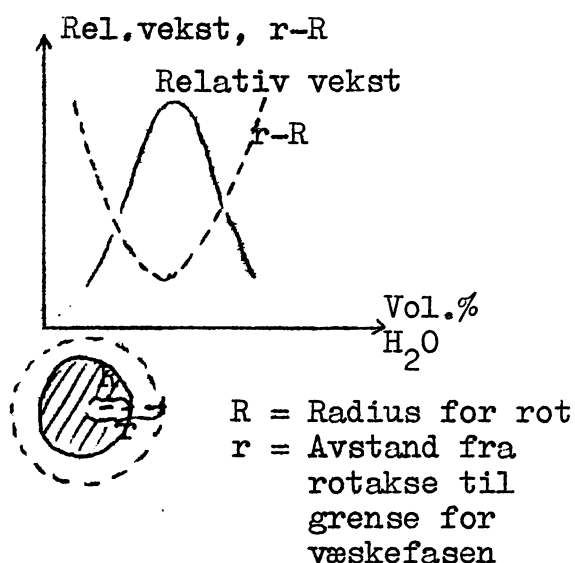
Med jordarbeiding menes mekanisk behandling av jorda med jordarbeidingsredskaper. Etter redskapstypen kan arbeidene deles i pløying, slodding, harving, fresing, tromling, radrensing, djuparbeiding. Etter virkningen på fordeling av porestørrelser, aggregatstørrelser, næringsstoffer og organisk materiale kan vi ha en inndeling i løsning-pakking, smuldring-tilklining, vending-blanding. Virkningen på overflateformen kan beskrives som en jamning eller profilering.

Jordarbeiding er ikke nødvendig for den naturlige vegetasjon. Den er derimot nødvendig for å få en vekst til å vokse hvor den ikke har naturlige betingelser for å bli enerådende. Virkningen mot ugraset er derfor viktig - det har til og med vært hevdet at dette er den viktigste virkningen av jordarbeiding.

I aride strøk tar bonden sikte på å beholde alt organisk materiale på, eller så nær overflaten som mulig, for å hindre fordamping og erosjon. I fuktige områder er ugraset et stort problem. Grasvoll må vendes hvis ikke graset skal konkurrere ut åkervekstene. Kveke er en vekst av grasfamilien og må behandles på lignende måte. I fuktige områder har det vært vanlig å grave det organiske materialet ned i jorda.

### B. Formål med jordarbeiding.

Jorda kan betraktes som vokseplass og som kjørebane. En god vokseplass krever at de fysiske forholdene i jorda er tilpasset de ulike kulturplanters krav. Når det gjelder poreforholdene, tyder de fleste undersøkelser på at det må være både H<sub>2</sub>O og O<sub>2</sub> tilstede i visse forhold for at jorda skal være et godt medium for røttene. Lemon og Kristensen har vist at den såkalte transportvei for væskefasen kan brukes som et mål for jordstrukturen.



et/  
Figuren viser at ved midlere vanninnhold er det et minimum for  $r-R$  og et maksimum for relativ vekst. I overført betydning vil dette si at ved små vanninnhold vil det være stor motstand mot transport av vannet. Ved stort vanninnhold er det stor motstand mot transport av oxygen, og siden røttene trenger begge deler, vil de

vokse best ved midlere vanninnhold. Dette vil falle sammen med den raskeste oppvarming av jorda, da forandringen i temperatur med tid er størst ved midlere vanninnhold. Skal vi se jorda som medium for plantevekst, trenger den altså både store og små porer. Jordarbeiding virker stort sett bare på de store, luftførende porene. Det er mengden av dem vi til en viss grad kan regulere i ønsket retning. En spesielt viktig del av jordarbeidingen går ut på å gi såfrøet vilkår som fremmer rask spiring. I samband med dette kommer kravet om lett tilgang på næringsstoffer, det vil si kort vei til kildene.

I de senere årene har det vært arbeidd en god del med fordelingen av handelsgjødsel i jorda. Det har til dels blitt oppnådd gode resultater av radsåing av handelsgjødsel (Cook, Heinonen, Nieminen).

Ettersom åkerplantene tvinges inn i et miljø hvor andre vekster har mer naturlige betingelser, kreves det at jorda holdes fri for konkurrerende og skadelige organismer (ugras, sopp- og insektsykdommer). Jordarbeiding alene kan vanskelig greie denne oppgaven.

Kravet til jorda som kjørebane er at farbarheten må være størst mulig. Da vanninnholdet her er en avgjørende jordfaktor, vil det si at de store porene må tømmes for vann, et krav som i første rekke oppfylles ved god drenering. Inter-aggregatkohesjonen skyldes vannfilmer mellom aggregatene. Det er viktig at disse ikke blir brutt i for stor utstrekning ved arbeiding. Ved pløying

## Ploying:

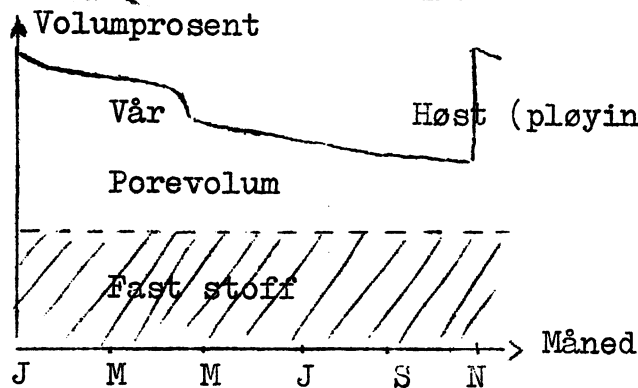
vil det bli forholdsvist liten minskning i denne delen av fastheten for jordskjelettet. Ved harving - og enda mer markert ved fresing - blir denne kohesjonen for en stor del brutt. Fastheten i det arbeidde laget avtar drastisk og hvis arbeidinga går djupt, blir matjordas bæreevne redusert sterkt. Ved pakking kan en påny øke bæreevnen. Den vil også øke med setning og med gradvis oppfukting fordi væskefilmene påny vil omgi aggregatene.

Vi kan endelig sette opp et krav om at åkervekstene skal være lette å høste - noe som kan kreve en jamn overflate.

### C. Virkninger av jordarbeiding.

#### 1. Pakking - løsning.

De fleste arbeidene virker mest på de store porene, de som i drenert jord er fylt med luft. Redskaper som pakker jorda (trommel, skålharv), driver luft ut, senker porevolumet og øker varmeledningsevnen og fastheten. Redskaper som løsner jorda, øker porevolumet, særlig volumet av større porer, og senker varmeledningsevne og fasthet (bæreevne). Av løsnende redskaper kan nevnes plog og kultivator.



Til slutt vil vi gjengi en figur som viser forandringene i porevolumet med årstidene ved korndyrking (Andersson).

#### 2. Vending - blanding.

En vending av jorda kan være nødvendig av hensyn til ugraset. Eksempel på dette er omploying av voll. Vending av jorda kan føre til jammere fordeling av organisk materiale og næringsstoffer. Dette gjelder særlig eng og beite. Videre er det mulig at en vending av jorda kan hindre utvasking, ved at stoffer som er på vei nedover, blir brakt opp til overflaten igjen.

Det mest typiske venderedskapet vi har, er plogen. Vende virkningen

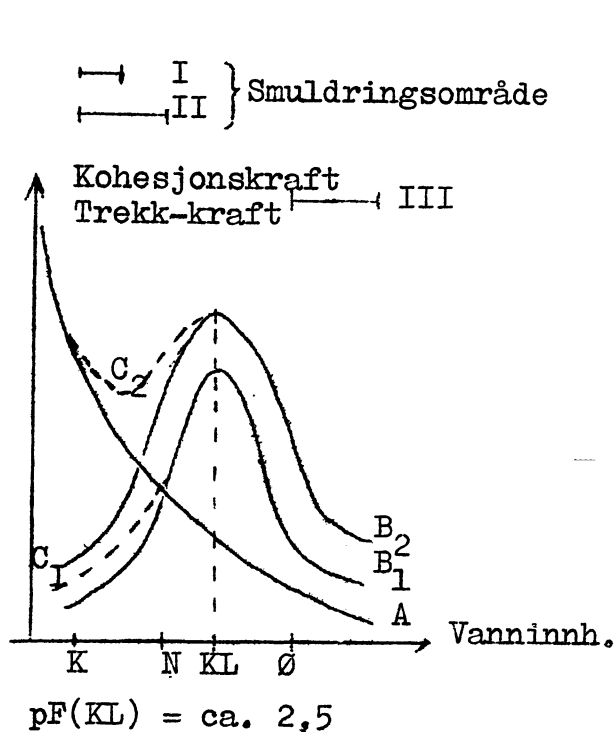
er best ved stort forhold bredde : dybde av plogfåra.

Innblanding av planterester og gjødsel og blanding av ulike sjikt er en annen oppgave for arbeidinga. For husdyrgjødsel betyr nedmylding et mindre tap av N. I jord som binder enkelte gjødselslag, kan en grundig innblanding føre til dårligere virkning av gjødsla. I langvarig eng og beite blir det med tiden et stort næringsinnhold i sjiktet nærmest overflaten, mens åpen åker er mer homogen i hele matjordlaget.

Ved lite forhold bredde : dybde av plogfåra har plogen en god blandevingning. I motsetning til vanlig oppfatning har det vist seg at fresing ikke har god blandingseffekt - i hvert fall ikke i mineraljord. Freserkniven slår gjennom jorda, men tar ikke med seg mye av massen rundt. En må vel likevel regne at den har ganske god blandingseffekt i det øverste sjiktet. Skålharv har også noenlunde brukbar blandingseffekt i det øverste sjiktet av matjorda.

### 3. Smuldring - tilklining.

Smuldring er oppdeling av klumper i naturlige aggregater og oppdeling av store naturlige aggregater i mindre aggregater. Königs har laget en figur som illustrerer smuldring i forhold til kohesjon og vanninnhold.



- A = Intra-aggregatkohesjon.
- B<sub>1</sub> = Interaggregat-kohesjon, liten kraft.
- B<sub>2</sub> = Interaggregat-kohesjon, stor kraft.
- C<sub>1</sub> = Trekk-kraft, små aggregater, liten kraft.
- C<sub>2</sub> = Trekk-kraft, store blokker, stor kraft.
- I = Gunstig fuktighet, stor kraft.
- II = " " , liten "
- III = " " , risdyrking.
- K = Kryppegrense
- N = Nedre plastisitetsgrense
- Ø = Øvre " "
- KL = Klebegrense.

Av figuren går det fram at arbeidinga bør foregå et sted mellom nedre plastisitetsgrense og krympegrensa. Når aggregatene er små, stiger kraftbehovet med fuktigheten, og svarer nokså nær til inter-aggregatkohejsjonen. Når aggregatene er store (klump, skorpe), avtar kraftbehovet med stigende fuktighet til en viss grense for så å stige igjen. Smuldringsområdet er fuktighetsintervallet mellom nedre plastisitetsgrense og krympegransen. Innenfor dette intervallet er jorda halvfast. Ved større fuktighet er jorda plastisk og ved enda større fuktighet flytende. Som hovedregel gjelder at jorda ikke skal arbeides i det plastiske området (gjelder kolloidjord - ren sand er ikke plastisk).

Ved mindre fuktighet enn krympegransen kan jorda arbeides, men det gir stort sett et dårlig resultat. Det er nemlig et problem å få overført kraft som virker inn på aggregatene ved så liten fuktighet. Aggregatene glir unna. Anslagshastigheten eller bevegelsesenergien må derfor være stor. En freserkniv har rundt regnet dobbelt så stor anslagshastighet som en harvetinde. Fresing både krever tørrere jord enn harving og kan være mer effektiv i tørr, klumpete jord enn harving. Ved økende bevegelsesenergi - større kraft - har jordaggregatene vanskeligere for å komme unna - og smuldrer derfor lettere, vel å merke hvis jorda er smuldringstørr. Og her må en være klar over at sjølve trykket fra en harvetinde, plogskjær, eller freserkniv forandrer fuktighetstilstanden like foran arbeidsredskapet i retning av det plastiske området, og mer dess større trykket er, eller dess større anslagshastigheten er.

Tilklining av jorda er resultat av arbeiding ved en fuktighet som er større enn den nedre plastisitetsgrensen (utrullingsgr.). Ved opptørking etter tilklining stivner jorda til harde klumper. Røtter vokser ikke inn i klumpene.

For å vurdere riktig arbeidings tid for leirjord er det nyttig å se på fargen. Ved krympegransen skifter fargen fra mørk til lys (pløgslekammene kvitner). Jorda like under overflaten er da smuldringstørr.

Jordarbeiding er bare én av de prosessene som smuldrer jorda. Frostsmuldringen er kanskje viktigere enn jordarbeiding under våre forhold.

#### 4. Jamning - profilering.

Eksempler på redskaper som lager en profilert overflate, er ploger og hyppeskjær. Av redskaper som jamner overflaten, har vi slodder, harver (lettharver), tromler.

Formålet med jamning kan være å sette ned fordampingstapet av vann (mindre overflate), eller å lette etterfølgende arbeider, f.eks. høstearbeid. Såned.

#### 5. Ugras.

Kampen mot ugraset var tidligere en av de viktigste oppgavene for jordarbeidinga. Det ser imidlertid ut til at vi etter hvert vil få selektive ugrasmidler som kan svekke de fleste ugras effektivt. Virkningen av jordarbeiding mot ugraset blir best ved en viss avstand i tid mellom arbeidene. Nytt ugrasfrø kan spire, og opplagsnæringen i jordstengler, røtter og frø kan bli oppbrukt. Det gjelder så å komme med neste arbeidning før ugrasplantene får tid til noen vesentlig assimilasjon. Det er dessuten viktig at all jorda blir gjennomarbeidd ved hver harving, slik at hver tinde drar sitt eget drag. Dette er til dels vanskelig å oppnå med svingbare harver.

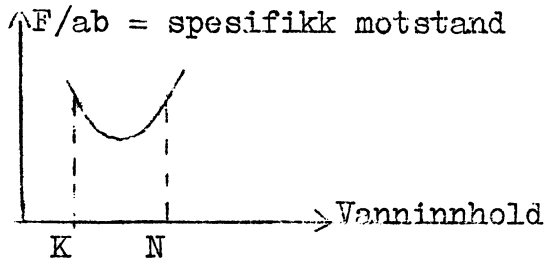
#### C. De ulike arbeider.

##### 1. Pløying.

##### a. Arbeidsmåte.

Plogen vender, løsner, blander og smuldrer jorda. Vendevirkningen er best ved stort forhold bredde av får : dybde av får. Blandevirkningen er best ved lite forhold bredde : dybde. Smuldringen avhenger av fuktigheten. I smuldringstørr jord tiltar smuldringen med hastigheten.

Trekraften er avhengig av flere faktorer. Som nevnt før, vil den på jord med en del store aggregater ha et minimum ved et visst vanninnhold.



$K$  = krympegrense

$N$  = nedre plastisitetsgrense  
(utruilingsgrense)

Wadjunina og Bachtin har satt opp en formel for variasjon i trekkkraft med andre faktorer ved et bestemt vanninnhold.

$$F = fG + K \cdot ab + e \cdot ab \cdot v^2$$

hvor  $F$  = trekk-kraft (kp)

$f$  = friksjonskoeff. metall - jord

$G$  = vekt av plogen (kg)

$K$  = en konstant som inkluderer fastheten (kp/cm<sup>2</sup>)

$a$  = plogbredde (cm)

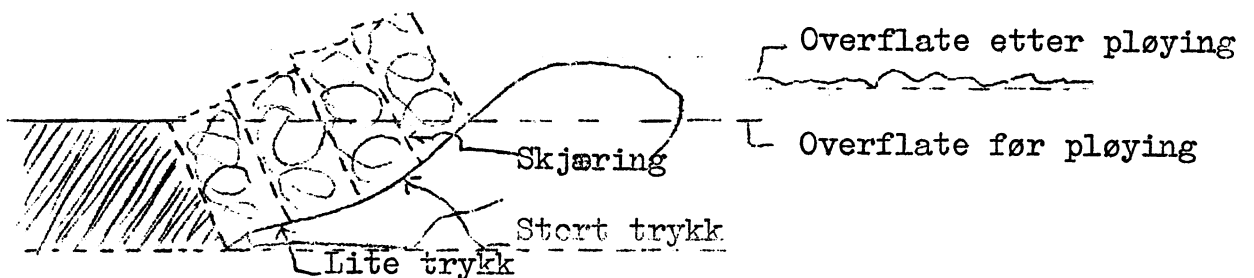
$b$  = plogdybde (cm)

$e$  = en "hastighetskoeffisient" (kp sek<sup>2</sup>/cm<sup>4</sup>)

$v$  = pløyehastighet (cm/sek)

Fastheten tiltar sterkt med dybden, og pløyemotstanden stiger nesten lineært med fastheten.

Plogen har en form som gjør at trekk-kraften blir forholdsvis liten. En loddrett plate som blir trukket framover i jorda har et større kraftbehov.



Hvis skjæret er uskarpt, har det lettere for å danne seg plogsåle enn når skjæret er skarpt.

Kravet til en god pløying er at de enkelte fårene skal være like breie og like tjukke, at de skal ligge godt inntil hverandre (for å hindre vekst av ugraset), og at det ikke skal være noen synlige gras- eller ugrastust etter pløyinga. Frostsmuldringen av overflaten blir best hvis forholdet bredde/dybde av fårene er 1/4 (135° vending). Denne frostsmuldringen foregår særlig senhøstes



og tidlig på våren, og skyldes vekslingen i temperatur omkring 0 °C. Men også den vanlige gjennomfrysingen av jorder i løpet av vinteren har betydning da den har til følge at jorda blir vannmettet om våren, og at den blir mer porøs og smuldrer bedre. En jammere frostsuldring av overflaten får en hvis pløgsla blir jamnet om høsten. På siltholdig leirjord kan det imidlertid lett bli skorpe etter kraftig regn eller under teleløsningen, videre kan opptørkingen bli noe forsinket.

Skumskjæret hjelper til å hindre flerårige ugras i å vokse opp mellom fårene, fører til bedre smuldring og får jorda til å sette seg bedre. Ved nedpløying av hel halm er det nesten umulig å bruke skumskjær. Hensynet til både kveke og halm kan tilsa at vi bør bruke et større forhold mellom bredde og dybde enn 1.4. Hvis det er mye kveke, kan det være et spørsmål om hva en skal ta mest hensyn til, enten få en forholdsvis dårlig pløying ved nedpløying av halm eller fjerne halmen og bruke skumskjær på plogen, og dermed få en bedre pløying. Hvis halmen blir knust og spredd skikkelig, kan en få bra pløyekvalitet, også ved halmnedpløying.

Den løsningen en får etter plogen er stort sett av mer varig natur enn løsning etter andre redskaper, fordi det er større sammenheng mellom aggregatene etter pløying.

#### b. Pløedybde.

En oversikt over pløedybden i ulike europeiske land viser at i England har pløedybden vært 15-20 cm, i Mellom-Europa 20-30 cm, i Italia 30-40 cm. Dette reflekterer klimadifferanser (vann- og varmeforhold).

Forhold ved jorda er sannsynligvis enda viktigere. Hvis oksydasjonen av organisk materiale går raskt (sandjord), er det mindre risiko ved djup pløying enn i jord med dårlige oksydasjonsforhold.

En omsetning av organisk materiale i reduserende miljø vil føre til skadevirkninger. Av denne grunn er det alltid en viss tvil med hensyn til fordelene av djup arbeidning av leirjord, hvis den går ut på å grave det organiske materialet ned. I leirjord har undergrunnen forholdsvis stor fasthet og kan dermed

bære maskiner som spinner seg gjennom ploglaget i våt tilstand. Etter djup pløying av leirjord kan en risikere at maskinene synker ned til den nye plogsålen ved kjøring på våt jord (skur-tresking, høsting av rotvekster).

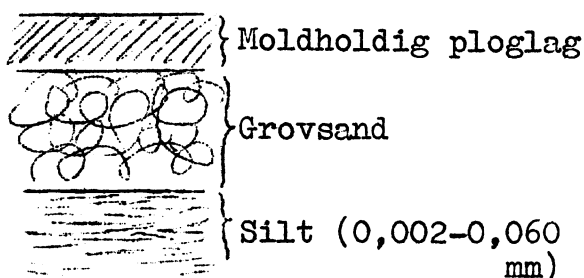
Det kan være tilfelle hvor undergrunnen er surere og i dårligere næringstilstand enn ploglaget. Vanligvis er dette mest typisk for plogsålen eller laget direkte under ploglaget. En djupere pløying kan her kreve mer gjødsling og kalking.

Plantene kan ha ulike krav til dybden av matjordlaget. En regner at brassica-planter og poteter tåler djup pløying, sjøl om strukturen er ujamn. Sukkerbete liker et djupt, men forholdsvis homogent matjordlag.

Hvis en pløyer djupt én gang og så går over til tidligere pløye-dybde, hender det at mellomlaget blir pakket svært tett. I Tyskland brukes uttrykket "verlassene Krumenschichten" om matjord som er blitt pløyd ned til større dybde hvor den så er blitt liggende.

Det er mange som hevder at for å unngå skadevirkningene av for brå forandring i pløedybden, bør en ta "en millimeter djupere" hvert år. En viss forandring i pløedybden fra år til år er gunstig for å hindre en tett plogsåle.

I visse tilfelle kan det være bra å pløye riktig djupt, da i første rekke av hensyn til ugunstig lagdeling i profilet.



Profilet på figuren viser et tilfelle hvor det kan være aktuelt å foreta en blanding av jordlagene for å få en bedre rot-utvikling og dermed hindre nedsatt avling på grunn av vannmangel.

Forsøk ved NLH med tre pløedybder ga for årene 1948 - 54 følgende førenhetsavlinger (skjør leirjord).

Omløp	Dybde		
	12 cm	18 cm	24 cm
I	536	544	532
II	573	598	575

Omløp I var Poteter, bygg, 3 år eng, havre.

Omløp II var Forbeter, kveite, 3 år eng, kveite.

Virkingen på rotugraset er bl.a. undersøkt på NLH 1940 (åker-tistel, åkerdylle). Relative tall:

Pløedybde	1 harving	3 harvinger
12 cm	100	60
18 cm	58	37
24 cm	37	29

I 1953 ble mengden av kvæve i loa bestemt (vektprosent).

Pløedybde	1 harving	3 harvinger
12 cm	42	16
18 cm	30	14
24 cm	28	13

I 1961 ble tida for ugraslukning i kålrot notert.

Pløedybde	Timer pr. dekar	
	1 harving	3 harvinger
12 cm	11,2	3,6
18 cm	6,6	2,9
24 cm	8,5	1,5

I det store og hele har 18 cm pløedybde vært tilstrekkelig til å gi full avling de fleste år i dette forsøket. I tørre år har det vært tendens til større avling på den djupest pløyde jorda og i våte år (f.eks. 1962) har det vært nedgang i avling ved djupest pløying.

I endel andre forsøk med 35-40 cm djup pløying og vanlig pløying

+ grubbing til 35-40 cm har det vært svært få positive utslag for djup arbeidning. Det har forekommet flere signifikant negative utslag ved djup pløying.

Tidligere djuparbeidingsforsøk i Norge (bl.a. Hasund, Saltrøe, Moen) har heller ikke gitt noen overbevisende utslag for djuparbeidning.

På leirjorda må en under våre nåværende driftsforhold være skeptisk overfor en sterk økning i pløedybden, da en alltid må ha for øye at det er mye kjøring med tunge redskaper. Mye av denne kjøringa foregår til tider når jorda er våt, og dette medfører fare for dårlig framkomstevne og ødelegging av strukturen.

Utenlandske forsøk har særlig gitt positive utslag for djuparbeidning på sandjord og i strøk med liten nedbør. Oksydasjonsforholdene er i slike tilfelle gode.

## 2. Grubbing.

Grubbing er en form for djuparbeidning som er særlig aktuell for å bryte opp harde lag i jorda, f.eks. en hard plogsåle. Grubbingen utføres med grubbere, kraftige harver med 1 - noen få djuptgående tinder.

## 3. Slodding.

Slodding har som oppgave å smuldre og jamne overflatelaget, klemme tørr klump ned til fuktigere jord, slik at den kan smuldre under harvingen og dessuten sørge for gode spiringsforhold for frø-ugraset.

Tidligere ble det hevdet at slodding skulle bryte de kapillære ledningsbanene, ved at løslaget etter sloddingen tørket ut. Imidlertid må en være klar over at de kapillære ledningsbanene allerede er brutt på den tid jorda begynner å gråne i overflaten.

Sloddelaget virker som isolasjon mot varmeledning og kan derved hindre en del fordampning på den måten.

I undersøkelser over suget i jorda (målt med tensiometer) viste det seg at et tynt løslag øverst ga lågere tensiometerverdier

både i 5 cm og 20 cm dybde enn uforstyrret pløgsle.

Sloddinga skal utføres når pløgslekammene kvitner. Slodding av for fuktig leirjord fører til klining.

Enkelte slodder har så lange kniver at de virker omtrent som harver.

#### 4. Harving.

Harvinga skal smuldre, blande og jamne det øvre jordsjiktet og bekjempe ugras. Noen harver kan løsne jorda, andre kan pakke.

##### a. Harvetyper.

Kultivatorer (grubbere) kan arbeide hele matjordlaget eller enda djupere. Det fins både fjær- og stivkultivatorer. Med påsatte gåsefotskjar virker de godt mot enkelte flerårige rotugras (åkertistel). Kultivatorene løsner jorda og har lett for å dra opp klump hvis de stilles for djupt. Sett i kjøreretningen er tindeavstanden vanligvis omkring 15 cm.

Av egentlige harver er det tre hovedtyper:

##### 1. Harver med fjærende tinder.

Til denne gruppen hører kulturharver (fingrubbere), fjærharver, langfingerharver. Avstanden mellom tindene varierer omkring 10 cm, sett i kjøreretningen.

##### 2. Harver med stive tinder.

Under denne gruppen har vi rett-tindhharver, krokpinnharver (labharver). Avstanden mellom tindene varierer omkring 5-6 cm.

##### 3. Harver med roterende arbeidsorganer.

Her finner vi skålharver, rullharver (valseharver), rotorharver og fresere.

Kulturharvene står kultivatoren nokså nær, men har smalere tinder. Langfingerharver brukes i første rekke i ugraskampen. Rett-tindhharver og krokpinnharver er mye brukt i andre land til såbedet for korn, særlig på leirjord.

Harver med roterende arbeidsorganer kan pakke jordsjiktet like

under arbeidsdybden. Det er ingen særlig forskjell på arbeidet etter en rotorharv og en freser. Framdriftshastigheten i forhold til omdreiningshastigheten bestemmer arbeidingsresultatet. Anslagshastigheten for freseknivene (periferihastigheten) kan settes til omtrent det dobbelte av anslagshastigheten for harvetinder ved normal kjøring.

b. Smuldring.

Virkningen av harving på smuldringen beror først og fremst på fuktigheten i jorda under arbeidning. Da smuldringen særlig har betydning for leirjord, er det der en må være mest forsiktig under vårarbeidinga.

Ved Institutt for jordkultur har det vært utført forsøk i 1961 og 1962 som viser virkningen av "tørr" og "våt" arbeidning på skjor leirjord:

Fuktighetstilstand ved arbeidning	% Klump > 20 mm 0-5 cm dybde	% "Gryn"(0,6-6,0 mm) 0-5 cm dybde	Avling, kg bygg/dekar
Våt (etter regnv.)	67	14	151
Tørt	22	34	297

Tallene for klump og "gryn" gjelder 0-5 cm dybde. Etter Yoder skal en gunstig aggregatfordeling ved f.eks. spiring av bomullsfrø være en halvpart i gruppen 3,0 - 6,0 mm og resten bør være mindre.

Et slags hovedkrav til harving på leirjord er at en må vente til jorda er smuldringstørr før en setter i gang. Harver for leirjord bør ha mange, smale og stive tinder. Avstanden mellom tindene sett bakfra bør helst ikke være over 10 cm. Harver med mange tinder pr. løpende meter bredde bør helst konstrueres slik at de ikke går seg fulle av ugras.

På sandjord er det viktig å få startet tidlig om våren slik at det kan bli gode fuktighetsforhold under spiringen. Da det har lett for å være mye av flerårige ugras på de lettere jordartene, kan det være en fordel med noe bredere harvetinder enn på leirjorda.

Det er et hovedkrav at jorda er godt drenert, uansett jordart. Hvis dreneringen er god, er det nemlig gode muligheter for tidlig såing. I jord med mye stein passer det best med harver som har fjærende tinder.

På myrjord kan det være grunn til å foretrekke harver med roterende arbeidsorganer.

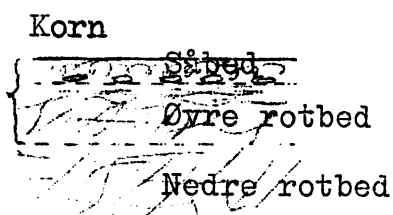
c. De enkelte vekster.

Arbeidsdybden for korn trenger ikke å være mer enn 5-7 cm. Det er da en forutsetning at en har pløyd jamnt, slik at det ikke er store nivåforskjeller på åkeren. Av hensyn til fastheten, og dermed bæreevnen, er det også en fordel at arbeidinga ikke går for djupt. Etter arbeidning (før såing) skal en kunne gå på jorda uten å synke ned mer enn et par cm!

Når det gjelder jordarbeiding til poteter synes det å være viktig at jorda blir løs og luftig til forholdsvis stor dybde. Det kan være aktuelt å pløye høstpløyd åker på nytt om våren hvis den har slemmet sammen og satt seg for mye i løpet av vinteren. Dette går naturligvis ikke på ompløyd voll.

Til rotvekster bør det være forholdsvis finsmuldret jord i såradene. Det er nevnt før at brassica-plantene liker et djupt rotbed, men at de ikke setter fullt så store krav til at det er homogent som sukkerbetene. De vil gjerne ha en homogen, djup jord.

Til vekster med knoller eller røtter med opplagsnæring er det sannsynligvis riktig å bruke drill mer enn flatt land på stivere jord. I grønnsakproduksjonen brukes delvis en sengkultur. Som arbeidsredskap passer en freser med bredde lik avstanden mellom traktorhjulene. En bruker faste hjulspor hele sesongen.



Ved maisdyrking brukes i U.S.A. mye "minimum tillage". Bare såradene arbeides, resten blir liggende i pløgsle. En prøver å utføre alt vårarbeidet i én operasjon. Det er flere metoder:

1. plow - plant
2. plow - then plant in wheel-track

Formålet med minimum tillage er å utsette jorda for minst mulig skader, spare kostnader, hindre ugraset i å spire mellom radene, og sikre raskere nedrenning av regnvannet mellom radene. Handelsgjødsla blir radsådd ca. 5 cm til siden og ca. 5 cm djupere enn såfrøet.

Overført til norske forhold må en si at rotvekstene og oljevekstene kunne høve for dette systemet.

En kan tenke seg et system hvor freseren kan utnyttes til et slikt formål. En tar av de fleste knivene bortsett fra én knivkrans for hver sårad. Jorda mellom såradene vil da bli liggende urørt.

Men foreløpig er slike metoder på eksperimentstadiet. Det som er prøvd, er pløying som eneste vårarbeid til poteter, pløying kombinert med rullharving (i én operasjon) som eneste arbeidning til vårkorn. I begge tilfelle har resultatene vært gode.

#### d. Norske forsøk med harving.

##### Harving til vårkorn.

I et forsøk som ble startet på NLH i 1939 var det stort sett større avling etter 2 enn etter én harving, særlig i år med mye rotugras. Virkingen av flere og djupere harvinger mot kveke var sterkest ved grunn pløying.

I en forsøksserie med harvetyper og antall harvinger var det forbausende lite utslag for to harvinger i forhold til én, i et par tilfelle var det til og med signifikant negativt utslag. Et felt med signifikant positivt utslag hadde mye kveke.



Nedenfor er gjengitt relative tall for kornavlinger (1 gangs skålharv = 100).

Antall harvinger	Type		
	Skålharv	Stivkultivator	Freser
1	100	97	105
2	96	101	

Kulturharv (Smuldner) var med i noen forsøk. Relativtallene i forhold til 1 gangs skålharv var 103 og 97 for 1 og 2 harvinger.

For alle harvetypene var det en tendens til mer legde etter 2 enn etter 1 harving, og likedan mindre ugras etter 2 enn etter 1 harving. Fresing ga mindre ugras og mer legde enn harvene.

En senere sammenligning mellom 1 og 2 harvinger, uansett harvetype viste at i middel for 69 høstinger på 42 felter var avlingene av bygg henholdsvis 313 og 312 kg/dekar.

Feltene var ettårige.

Vi skal også gjengi resultater fra et flerårig jordarbeidingsfelt på moldrik middels stiv leirjord:

Harvetype	Smuldner			Rotorharv		
	4	8	12	4	8	12
Arbeidsdybde, cm	4	8	12	4	8	12
Antall arbeidinger	1	2	3	1	1	1
% klumper > 6 mm i 0-5 cm dybde	33	34	38	40	40	36
% flerårig ugras	19	11	6	8	4	3
Avling, kg bygg pr. dekar	328	339	326	337	339	349

#### Harving til poteter.

Et forsøk som ble startet i 1939, ga for det meste små meravlinger for flere og djupere harvinger. Stort sett var det en liten nedgang i avling ved å gå fra 2 til 3 harvinger.

I forsøksserien med harvetyper og antall harvinger viste det seg at det var forholdsvis stor forskjell på harvetypene. Resultatene er gitt nedenfor:

Antall harvinger \ Type	Skålharv	Fjærkultivator	Stivkultivator
1	100	105	107
2	99	106	108
Middel	100	106	108

Her ser en tydelig at en har vunnet lite ved å harve to ganger i forhold til én. Derimot har en vunnet mye ved å bruke kultivator istedet for skålharv. Det dårlige resultatet for skålharva skyldes antagelig at den smuldrer et lag øverst, men pakker jorda lenger nede. Til poteter ga fresing noe mindre avling enn kultivator.

Det har også vært gjort forsøk med drill kontra flatt land i poteter, men en har lite materiale, og her skal derfor bare gjen- gis virkningen på temperaturen på soldager (°C kl. 14.00).

Behandling	Temperatur (°C) 1958,8 cm dybde
Flatt land	20,8
Drill N-S	21,8
Drill Ø-V	21,9

Avlingene på drill var høyere i 1958 og 1960, men ikke i 1959 (tørkeår), sammenlignet med flatt land. Drillretningen så ikke ut til å ha noen betydning.

##### 5. Tromling.

Tromling skal i første rekke pakke overflatesjiktet, knuse noe klump og jamne overflaten. På morenejord kan det være viktig at steinene blir klemt ned i jorda, så de ikke kommer i høstemaskinene.

Det har vist seg at virkingen på de fysiske forholdene i jorda er heller liten. Volumvekta stiger litt i de øverste 5 cm og luftinnholdet går noe ned. Virkingen på varmeledningsevnen er derimot

av større betydning. Det har vist seg at temperaturen i 10 cm dybde (kl. 14.00) har steget med 0,5-1,0 °C etter tromling. I spiresjiktet er temperaturstigningen større. Virkningen på temperaturen er sterkt avhengig av om jorda er fin eller grov i overflaten. Glatt-tromling gir nok her størst effekt.

I forsøk med tromling etter såing av korn har det vist seg at spiringen har vært raskere og jammere etter tromling enn der jorda ikke har vært tromlet.

Avlingsresultater fra en del norske forsøk er vist nedenfor (33 felter):

<u>Forsøksledd</u>	<u>kg korn/dekar</u>
Utromlet	264
Tromlet med Cambridgetrommel	281
" " " belastet med 200 kg pr. m bredde	287

Det har altså vært en avlingsøkning på 7-8 % for tromling etter såing. Tromling før såing har mest betydning for å gi økt fasthet, jammere fasthet, og dermed en passe sådybde.

På myr som fryser opp og blir for løs om våren, kan det være aktuelt med tromling også på voll.

#### 6. Ugrasharving - Skorpeharving.

Ugrasharving er ikke mye aktuell etter at alle de nye kjemiske midlene mot ugras er kommet.

Skorpeharving kan være nødvendig etter kraftig regn med påfølgende sterk opptørking om våren. Rett-tindharver, langfingerharver, grunnstilte kulturharver og tromler kan brukes til å bryte skorpe. Det er alltid en viss fare for grønnskudd i åkeren, og forsinket modning hvis harvene settes for djupt etter spiring. Stort sett må det være en fordel å unngå å harve midt i solsteiken, da det kan føre til at flere spirer tørker ut.

### 7. Høst- eller vårarbeiding.

I en del forsøk har en sammenlignet høst- og vårpløying med høst- og vårfresing. De pløyde rutene har vært harvet 2 ganger om våren, de freste rutene har blitt freset om våren.

I middel har avlingsresultatene vært som vist nedenfor (16 felter):

<u>Behandling</u>	<u>kg korn/dekar</u>	<u>% ugras (kveke)</u>
Høstpløyd til 17-20 cm dybde	288	14
Vårpløyd " " "	271	21
Høstfreset " " "	268	10
Vårfreset " " "	249	22

Ugrasnoteringen var foretatt bare på 10 felter.

Det har vært en tendens til at fresing høst og vår har tatt knekken på kveka, mens fresing bare om våren (2 ganger like etter hverandre) har hatt en tendens til å øke kvekemengden. Vårpløying har også ført til mer kveke.

Etter disse forsøkene har ikke freser (rotorharv) kunnet erstatte plog.

Fordelene med høstpløying kontra vårpløying er bl.a. av arbeidsmessig natur. Videre må en regne med en bedre frostsmuldring i det øvre laget ved høstpløying. Det kan være vanskelig å få utført all vårpløyingen til den tid jorda er smuldringstørr. Endelig har høstpløyd jord en mer passende fasthet enn vårpløyd jord. Da fastheten i jorda bestemmer spordybde og sådybde, betyr dette mye for hvor jamm spiringen blir.

Hvor jorda erfaringsvis er for tett, og hvor grøftene virker dårlig, kan det bli nødvendig med en slags overflatedrenering. Dette kan gjøres på flere måter.

- a) Forming av terrenget i rygger og daler.
- b) Pløying langs sterkeste fall hvor terrenget er forholdsvis flatt. Harvinga bør være grunn for at dreneringskanalene i pløgsla kan holde seg gjennom sesongen. En må unngå all unødvendig kjøring med traktor og andre maskiner og redskaper. På tett myr kan fresing om høsten føre til sein optøking om våren.

På alle jorder med tett undergrunn er det en fordel at pløyeretningen krysser grøfteretningen.

Dreneringsvirkningen av pløying er naturligvis sterkest jo kortere tid det er gått siden pløying. Derfor kan det muligens være riktig med vårpløying og grunn harving på jord som er dårlig drenert. Men dette er spørsmål som ennå er lite undersøkt i forsøk.

Ved vårpløying av smuldringstørr jord er det stort sett riktig å komme raskt med de neste arbeidene, slodding, harving, såing og tromling. I enkelte tilfelle kan det gå å lage såbedet ferdig i én operasjon (plog med påmontert rullharv). For stiv leirjord er det en gammel regel som sier at teigene skal gjøres såklar etter tur ved vårpløying. Dette vil si at en må slodde så fort som mulig etter pløyinga, og hvis det så er nødvendig med en harving eller tromling, at det skjer så kvikt som mulig. På jord som er godt drenert, er det i mange tilfelle nødvendig å pakke vårpløgsla, og det kan da være på sin plass med en tromling eller skålharving like etter pløyinga.

Er jorda for fuktig ved vårpløying, er det antagelig riktig å vente med slodding til det kvitner på toppene.

### 8. Arbeiding i veksttida.

For bare noen få år siden var det i Mellom-Europa vanlig å radrense høstkornet i veksttida, dels for å bryte skorpe, dels for å fjerne ugras. I dag (1965) er dette arbeidet nesten falt bort, og det er en tendens til å innskrenke arbeidene i veksttida også for de virkelige radvekstene. Tallrike forsøk har vist at hovedeffekten av arbeiding i veksttida består i å fjerne ugras. De fysiske virkningene spiller en mindre rolle. Men hvis det blir en virkelig hard skorpe, betyr det noe å få løsnet den.

Med hensyn til skadevirkningene av sjølve kjøringa, gjelder den samme regelen som ellers, at en skal unngå kjøring når det er vått på jordet, og at en må redusere antall kjøringer til det helt nødvendige.

Røttene og jordstenglene i potetene går helt ut til kanten av drillen, derfor vil de være utsatt for skader av skjær eller hjul.

I potetdyrkinga vil en være mest utsatt for skader ved tida for sprøyting mot tørråte. Bakhjulsdimensjonen på traktoren har vist seg å ha liten betydning, bortsett fra at 6" hjul har slirt for mye i motbakke og glidd ut i sidehelling på sandjord. Hypping må regnes som en nødvendig arbeidsgang, bl.a. av hensyn til knollenes farge.

En ser ofte at vannet følger potetradene etter sterke regnskurer i sommertida. Det kunne her være aktuelt å legge radretningen slik at vannet ikke får så stor fart, altså mer eller mindre langs kotene. Men dette støter igjen på praktiske vanskeligheter fordi sidehelling kan by på problemer for maskindrift.

#### 9. Stubbarbeiding.

Formålet med stubbarbeiding er å få ugrasfrø til å spire, bryte skorpe, blande organisk materiale inn i et tynt, varmt og fuktig jordlag og svekke flerårige ugras.

Skålharv, skålplog, skumplog, fresere (rotorharver) er redskaper som passer til stubbarbeiding.

Under norske forhold er det sjelden nok tid mellom høsting og pløying til å utføre stubbarbeiding. Det blir helst etter tørkeårene en kan få gjort slikt arbeid.

Det har vist seg at kveke settes tilbake ved stubbarbeiding. Det har også vært en tendens til at tidlig høstpløying ikke har gitt dårligere avlinger enn sein høstpløying. Dette kan antagelig forklares ut fra dårligere jordstruktur etter sein pløying (leirjord).

Stubbarbeidinga må være grunn, ellers kan det bli vanskelig å pløye etterpå (sliring av traktoren) og en får heller ikke den gunstige virkningen på omsetning av planterester.

## 10. Brakk.

Brakk er en dyrkingsmåte hvor jorda holdes fri for plantevekst i lengere eller kortere tid. Vi har helbrakk, vårbrakk og høstbrakk. Formålet med brakk er oftest å bli kvitt fleråreige ugras.

Prinsippet for arbeidinga er i de fleste tilfelle å få ugraset til å bruke opp opplagsnæring uten høve til noen ny netto assimilasjon. Både pløying og harving kan brukes, likedan opplegging av jorda i driller som blir kløvd hver gang en ser nye spirer av noen få cm lengde. Etter arbeidsmåten kan en delle inn i drillbrakk og flatbrakk. Drillbrakk er mest effektiv.

Det er viktig ved brakk å ta de samme hensyn til fuktigheten i jorda som ved annen arbeiding, nemlig å arbeide bare når jorda er smuldringstørr. For øvrig må det vel sies at brakk er en kostbar driftsform hvis det kan finnes andre måter til å få fjernet ugraset. For tida er det en del som sår høstkorn etter sommerbrakk.

En spesiell form av vårbrakk kan praktiseres i strøk med ensidig korndyrking. Jorda bør få ligge noen tid mellom hver arbeiding. Etter siste arbeiding sår en tidlig bygg eller havre, gjødsler godt og får dermed rask og god dekking av jorda. Det blir alltid mer halm etter sein såing. En bør ikke gjødsle så mye at det blir for mye legde i åkeren. Da kan kveka komme sterkt i legdeflekkene. Det er vist i danske forsøk at det ikke går å "gjødsle bort" kveke ved bruk av store nitrogenmengder.

Ellers er det klart at vårpløying (med grunn harving og rask såing) av høstpløyd åker er en måte til å holde de farligste ugrasene i sjakk.

Nedenfor er vist hvordan brakk kan virke på luftinnholdet i myrjord (brakken utført med skålharv).

<u>Dybde</u>	<u>Luftvolum %</u>	
	<u>Brakk</u>	<u>Ikke brakk</u>
0-5 cm	55,3	49,3
5-10 cm	37,9	41,1
10-15 cm	27,7	44,1

Vi ser at skålharva har ført til et løst topplag men at det er blitt tett lenger nede.

#### 11. Arbeiding til høstsæd.

Arbeidinga til høstsæd må ta sikte på å lage et såbed og rotbed som er fast nok til å hindre at røttene slites av under setning eller oppfrysing. At jorda blir klumpete i overflatelaget gjør mindre enn at det er store lufthuller lenger nede i matjordlaget. En skålharving (skålene stilt noenlunde rett framover) eller tromling like etter pløying er derfor gunstig. Det bør også tas sikte på å lage avløp for overflatevann slik at en til en viss grad kan unngå isbrann om våren.

Etter svenske undersøkelser kan høstkornet sende frørøttene ned på en meters dybde allerede om høsten. Høstkornet vil derfor ikke ta skade av en vanlig forsommertørke, fordi de er i stand til å utnytte vannreservene i jorda. Videre kan det tåle mye kvelstoffgjødsel uten å gå i legde fordi veksten kommer så tidlig i gang om våren. Stort sett bør en imidlertid bare dyrke det der hvor det er gode muligheter for avløp av overflatevann. Et omløp med tidlignsådd bygg (eller havre) og høstkorn er en mulighet. Ellers passer det best etter eng, tidligpoteter og brakk.

#### D. Sammenfattende merknader.

God drenering er grunnlaget for effektiv jordarbeiding.

En jamm pløying er grunnlaget for et godt vårarbeid.

Leirjorda bør arbeides bare når den er smuldringstørr. Harvinga bør ikke gå for djupt. Sandjorda bør arbeides tidligst mulig om våren.

På myrjord som har lett for å bli for løs i overflatelaget kan det være nødvendig med pakking ved hjelp av tung trommel.

Jord som lett danner skorpe, (siltholdig leirjord) bør ikke arbeides for fint.

Djuparbeiding er mest aktuelt hvor det er gode oksydasjonsforhold i jorda, og hvor en ikke kan oppnå skikkelig avling med andre midler.



Jordarbeiding er et nødvendig onde. Den bør derfor reduseres til et nødvendig minimum.

Unngå all unødvendig kjøring på rå jord.

Det byr på problemer å drive med ensidig åker på leirjorda, fordi en del nødvendige arbeider (særlig høstinga) vil komme på en tid når jorda tåler lite. Strukturen i matjorda blir dårligere etter kjøring på våt jord, og det er rimelig å anta at én vinters frost ikke er nok til å reparere skadene. I tillegg kommer så skadene på undergrunnen som gir seg uttrykk i en tettere jord.

En skikkelig gjennomarbeiding av øverste del av matjordlaget er nødvendig for å svekke ugraset. Det er viktig at hver harvetinde drar sitt eget drag og ikke følger sporene etter de andre.

Dårlig jordarbeiding (ujamn pløying, harving ved for stor fuktighet) gir ugraset, spesielt kveka gode muligheter til å konkurrere med kornet.

Rikelig tilgang av næring og vann i en svært klumpete jord kan til en viss grad oppheve virkningen av dårlig struktur på kornavlingene, men sannsynligvis bare på kort sikt, fordi ugraset (kveka) etter hvert vil formeres opp.

Jordarbeidinga kan gi kulturplantene en god start ved å:

- a. Regulere mengden av grovporer slik at det blir et passende forhold mellom luft og vann i spiringssjiktet.
- b. regulere sådybden ved virkning på fastheten i såbed og rotbed.
- c. fjerne konkurrerende planter.

Tilsammen vil dette gi såfrøet optimale vann- og oxygenforhold, optimale varmekforhold og en periode uten konkurranse. Disse tiltakene virker også på jammheten av åkeren, men her kommer som viktige tillegg:

- d. avstand til næringskildene (fordeling av næringsstoffer) og mengden av næring.
- e. homogeniteten av matjorda (dybde og kvalitet av humuslaget).
- f. muligheten for rotutvikling i undergrunnen.
- g. behandling av jorda etter spiring (ugrasssprøyting, ugrasharving, overgjødsling etc.)

Det fysiske miljøet i jorda har betydning for jordas produksjons-  
evne. Er det umulig å heve avlingsnivået ut over det middelmådige  
ved gjødsling, sortsvalg og andre produksjonsmidler, bør opp-  
merksomheten rettes mot det fysiske miljøet i jorda. Ved analyse  
av de fysiske forholdene i jordprofilen (NB! også under matjorda)  
kan en i enkelte tilfelle finne utveier til økning av produk-  
sjonsevnen.

Den enkelte bondes dyktighet varierer sterkt når det gjelder stellet  
av jorda som vokseplass. Det er en gryende forståelse av at jorda  
må behandles som et biologisk medium, en forståelse våre forfedre  
hadde, men som delvis ble borte ved mekaniseringen av jordbruket.  
Systemet maskiner - jord - klima krever en vurdering av sannsynlig-  
heter. En er ikke herre over alle situasjoner som vil inntreffe i  
vekstsesongen og må derfor ta et valg. Den enkeltes dyktighet  
viser seg bl.a. i valget av innsats.

Generell litteratur.

- Aslyng, H.C. 1961: Klima, jord og vandbalance i jordbruget.
- Baver, L.D. 1959: Soil Physics. 3rd edition.
- Bekker, M.E. 1960: Off-the road locomotion.
- Bertrand, A.R. and H. Kohnike. 1959: Soil Conservation.
- Cook, R.L. 1962: Soil management for conservation and production.
- Hénin, S. 1960: Le profil cultural. Principes de physique du sol.
- Junikis, A.R. 1962: Soil mechanics.
- Marshall, T.J. 1959: Relations between water and soil.
- Means, R.E. and Parcher, J.V. 1964: Physical properties of soils.  
2nd printing.
- Rid, H. 1958: Bodenbearbeitung und Bodenpflege.
- Russell, E.W. 1959: Water and its relation to soils and crops.
- Shaw, B.T. 1952: Soil physical conditions and plant growth.
- U.S.D.A. Agriculture Handbook No 18. 1951: Soil survey manual.
- U.S.D.A. Yearbook of Agriculture 1955: Water.
- U.S.D.A. Yearbook of Agriculture 1957: Soil.
- U.S.D.A. Yearbook of Agriculture 1960. Power.