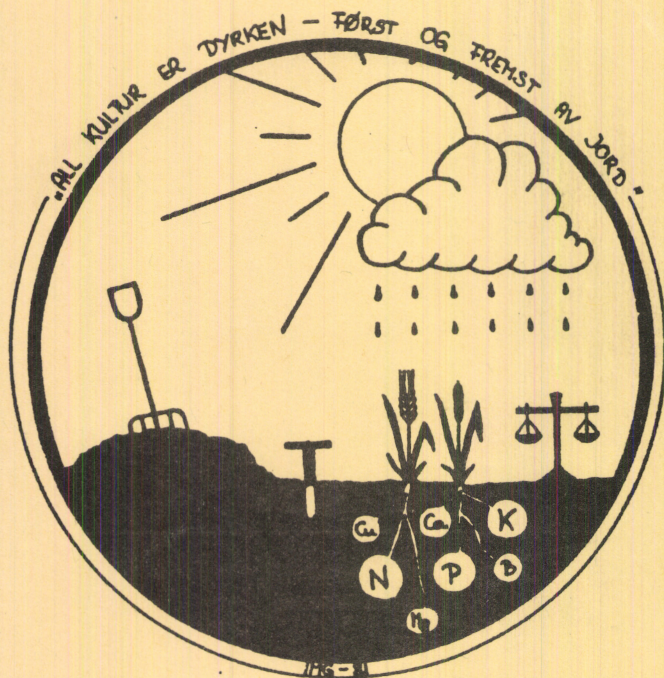


605

INSTITUTT FOR JORDKULTUR  
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE  
1432 ÅS-NLH

---

JK 3  
JORDFYSIKK OG JORDARBEIDING  
NOTAT 1/1985  
av  
Arnor Njøs  
Anne-Kirsten Stensby Høstmark



Landbruksbokhandelen

ISBN 82-557-0219-9

Ås-NLH 1985



JK3 - JORDFYSIKK OG JORDARBEIDING

NOTAT 1/1985

AV

Arnor Njøs

og

Anne-Kirsten Stensby Høstmark

INNHOLD:

- Definisjoner og formler (15 s)
- Størrelser og enheter (5 s)
- 2 Lagring av vann (16 s)
- Strømning av vann (12 s)
- 2 Energibruk i fôrproduksjonen (14 s)
- Physical Properties of Peats and Their Importance in  
Cultivated Peatlands (28 s)
- Bakkeplanering ( 18 s)
- Nydyrking (30 s)
- Jord, jordkultur, grøntarealer (4 s)
- Dyrkingsmedier av bark og barkblandinger (11 s)
- Erosjon (9 s)



## JORDFYSIKK - NOEN DEFINISJONER OG FORMLER

av

Arnor Njøs

### Binding av vann i jord

Tyngdepotensial: Arbeid mot tyngdekraft ved å overføre én masse-

$\phi$  enhet vann fra et 0-nivå (høyde = 0 m) til et gitt punkt i jordvannsystemet.

Dimensjon: energi/masse,  $\text{Jkg}^{-1}$

Fortegn: positivt over 0-nivå  
negativt under 0-nivå

Beregning  $\phi = mgh/m = gh = m^2 s^{-2}$

m=masse, g=tyngdeakselerasjon, h=høyde

Osmotisk potensial: Arbeid mot osmotiske tiltrekningskrefter ved

$\omega$  å overføre én masseenhets vann fra et 0-nivå (rent vann) til et gitt punkt i jordvannsystemet.

Dimensjon: energi/masse,  $\text{Jkg}^{-1}$

Fortegn: negativt, der det er oppløste stoffer

Beregning:  $\omega = -\pi/\rho$

$\pi$ =osmotisk trykk,  $\rho$ =tetthet av jordløsningen

Osmotisk trykk  $\pi = RT \cdot \sum c_i$

R = gasskonstant  $\sum c_i$  = Sum av konsentrasjon av alle komponenter

T = temperatur

Matrix-potensial: Arbeid mot tiltrekningskrefter av kapillær og

$\Psi$  adsorptiv natur i jorda ved å overføre én masseenhets vann fra et 0-nivå (ingen kapillære og adsorptive krefter) til et gitt punkt i jord-vannsystemet.

Dimensjon: energi/masse,  $\text{Jkg}^{-1}$

Fortegn: negativt ved mindre vanninnhold enn metning.

Beregning: 1. Ved likevektsbetraktning

Matrixpotensial = -tyngdepotensial

2. Ved måling med tensiometer. Avlest sug = p, Pa,

$\psi = -p/\rho$ ,  $\rho$  = tetthet for vann,  $\text{kgm}^{-3}$

Matrix betyr her "skjelettet", poreveggene i jord-vannsystemet.



Trykkpotensial: Arbeid mot hydrostatisk overtrykkskraft ved å  $\psi_p$  overføre én masseenhet vann fra et 0-nivå (atmosfærisk trykk) til et gitt punkt i jord-vannsystemet.

Dimensjon: energi/masse,  $\text{Jkg}^{-1}$

Fortegn: Positivt der det er overtrykk

Beregning:  $\psi_p = \Delta p / \rho$

Trykkpotensial kan vi ha ved utdriving av vann fra jord ved hjelp av overtrykk. Forutsatt samme høyde (d.v.s. tynne, horisontale jordprøver) vil matrixpotensialet balansere trykkpotensialet ved likevekt.

Statisk likevekt: Tilstand hvor totalpotensialet er konstant overalt i jord-vann-systemet, dvs. gradienten er 0.

Dreneringslikevekt: Likevekt med vann ved en gitt dreneringsdybde (referensnivå)

Dreneringssug: Bindingsenergi, på volumbasis, som svarer til en gitt høyde over et referensnivå (eller til en gitt dreneringsdybde). Forutsetning for slik likevekt: Sammenhengende væskestrenger fra utgangspunktet til referensnivået.

Matrix-sug: Bindingsenergi, på volumbasis, som svarer til en gitt uttørkingstilstand, og som henger sammen med det faste materialet (poreveggene) i jord-vannsystemet. Måles med tensiometer eller trykkapparater. Svarer til dreneringssug der det er sammenhengende vannstrenger til et referensnivå. Matrix-suget kan også kalles jordsuget eller materialsuget. Det er ingen entydig sammenheng mellom vanninnhold og matrix-sug, på grunn av hysteresis.

Osmotisk sug: Bindingsenergi, på volumbasis, som svarer til en gitt mengde av løste stoffer i jordløsningen.

Total-sug: Summen av alle enkelt-sug, vanligvis av matrix-sug og osmotisk sug.



0-nivå, referensnivå: En mengde av rent vann, uten påvirkning av andre ytre krefter enn tyngdekraften, ved høyde = 0, ved atmosfærisk trykk, ved samme temperatur som ellers i jord-vannsystemet.

Bindingsenergi: Arbeid ved å overføre vann fra et gitt punkt i jord-vannsystemet til et referensnivå.

Bindingsenergi/masse. Spesifikk bindingsenergi, "bindingspotensial".  
 $mgh/m = gh$                       Benevning som potensial, fortegn motsatt av potensial.

Bindingsenergi/volum. Sug, bindingstrykk. Svarer i tallverdi til det trykket vi må bruke for å drive vann ut av jorda. Fortegn positivt.  
 $pV/V$

Bindingsenergi/tyngde. Bindingsnivå, bindingshøyde. Svarer til det suget en kan lese av på et tensiometer med vannmanometer. Svarer også til høyden over et grunnvannsnivå, hvis det er statisk likevekt, d.v.s. ingen fordamping fra overflaten - og sammenhengende vannsøyler.  
 $mgh/mg = h$

$pF = \log_{10} h$  (i cm)      Egentlig logaritmen til Gibbs for energi på tyngdebasis, dvs. at også osmotiske virkninger bør tas med.

Damptrykket for jordløsningen i et gitt punkt i jord-vannsystemet blir redusert både som følge av osmotiske krefter og kapillære/adsorptive bindingskrefter.

Energi/masse     $\Phi_m = (RT/M_w) \ln(p/p_o)$   
 $R =$  gasskonstant  $8,3 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$   
 $T =$  temperatur, K  
 $M_w =$  molekylvekt for vann,  $0,018 \text{ kg mol}^{-1}$   
 $p =$  damptrykk, Pa  
 $p_o =$  metningsdamptrykk, Pa

Energi/volum     $\Phi_v = (RT/V_w) \ln(p/p_o)$   
 $V_w =$  molart volum av vann,  $18 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$

Damptrykket er altså et slags totalmål for jordvannets energi-



tilstand.

$$\text{Eks. } p/p_0 = 0,989 \quad T = 293 \text{ K} \quad \phi_v = (8,3 \text{ Nm} \cdot 293 \text{ K}/18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}) \cdot \ln 0,989 = -14,9 \cdot 10^5 \text{ Pa} = \underline{\underline{-14,9 \text{ bar}}}$$

Uttrykk for pF:

$$pF = \log_{10} h \quad h = \text{cm H}_2\text{O}$$

$$pF = 3,5 - \log d \quad d = \text{porediameter, } \mu\text{m}$$

$$pF = 6,5 + \log (2 - \log RH) \quad RH = \text{relativ luftfuktighet i prosent}$$

$$pF = 4,1 + \log \Delta T, \quad \Delta T = \text{frysepunkt nedsetting, K}$$

$$pF = 2 \log \omega + C, \quad \omega = \text{vinkelhastighet for sentrifuge}$$

C = konstant for en viss oppsetning

Infiltrasjon: Inntak av vann i jorda

I = kumulativ infiltrasjon: samlet vanninntak i mm

i = dI/dt = infiltrasjonshastighet, infiltrasjonsevne

Den kumulative infiltrasjonen øker med tiden etter følgende ligning (tilnærmet)

$$I = S t^{\frac{1}{2}} + A t \quad (\text{e. Philip})$$

S = opptaksevne

A = transportevne

t = tid

Når  $t \rightarrow \infty$

$$I \approx A t$$

Hvis vi deriverer, får vi

$$\frac{dI}{dt} = i = A = \text{konstant} \quad (\text{enhet ms}^{-1})$$

hvor A kan sammenlignes med vannledningsevne for mettet jord, K.

Volumetriske forhold, Masseforhold i jord

<u>Jordvolum</u>	V		
<u>Porevolum</u>	Vp		
<u>Luftvolum</u>	Vl	<u>Masse av luft</u>	Ml
<u>Vannvolum</u>	Vv	<u>Masse av vann</u>	Mv
<u>Materialvolum</u>	Vm	<u>Masse av fast materiale</u>	M
<u>Poretall:</u>	Porevolum/Materialvolum		
	e = Vp/Vm		



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

$$V = V_p + V_m$$

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

$$V_p = V_l + V_v$$

$$\underline{\text{Jordtetthet (tørr)}} = \gamma (\text{tørr}) = M/V$$

$$\underline{\text{Jordtetthet (våt)}} = \gamma (\text{våt}) = (M + M_v)/V$$

$$\underline{\text{Materialtetthet}} \quad \rho = \rho = M/V_m$$

Tetthet og densitet kan brukes om hverandre

Vektprosent vann: Masse av vann/masse av fast materiale

$$(M_v)\% : 100 \cdot M_v/M$$

Volumprosent vann: Vannvolum/Jordvolum  $(V_v)\% : 100 \cdot V_v/V$

Volumprosent = Jordtetthet  $\cdot$  Vektprosent

$$(V_v)\% = \gamma (\text{tørr}) \cdot (M_v)\%$$

Volumprosent vann = mm vann pr dm dybde fordi 1 mm = 1 dm/100

Omregning fra vektbasis til dekarbasis:

Eks.

$$\underline{0-0,2 \text{ m}} \quad \text{CEC} = \text{Kationeombyttingskapasitet } 20 \text{ meq } (100 \text{ g})^{-1}$$

$$\gamma = 1,3 \text{ kg dm}^{-3}$$

0,2 - 1,0 m

$$\text{CEC} = 5 \text{ meq } (100 \text{ g})^{-1}$$

$$\gamma = 1,6 \text{ kg dm}^{-3}$$

Dybde	Volum	Masse
0-0,2 m	0,2 m $\cdot$ 1000 m <sup>2</sup> = 200 m <sup>3</sup>	1,3 t m <sup>-3</sup> $\cdot$ 200 m <sup>3</sup> = 260 ton = 260000 kg
0,2-1,0 m	0,8 m $\cdot$ 1000 m <sup>2</sup> = 800 m <sup>3</sup>	1,6 t m <sup>-3</sup> $\cdot$ 800 m <sup>3</sup> = 1280 ton = 1280000 kg

Dybde	meq kg <sup>-1</sup>	kiloekvivalenter pr dekar
0-0,2 m	200	200 meq kg <sup>-1</sup> $\cdot$ 260 000 kg $\cdot$ 10 <sup>-6</sup> keq (meq) <sup>-1</sup> = 52 keq daa <sup>-1</sup>
0,2-1,0 m	50	50 meq kg <sup>-1</sup> $\cdot$ 1280000 kg $\cdot$ 10 <sup>-6</sup> keq (meq) <sup>-1</sup> = 64 keq daa <sup>-1</sup>
		<u>Sum = 116 keq daa<sup>-1</sup></u>

Det siste resultatet kan også betraktes som kiloekvivalenter pr dekar meter.

Forutsetter vi at hele kationlagret i jorda består av Ca<sup>2+</sup>, kan vi regne om til kg Ca daa<sup>-1</sup>

$$\text{Ekvivalentvekt Ca}^{2+} = 40/2 = 20$$

$$\text{Antall kg Ca}^{2+} : 20 \text{ kg (keq)}^{-1} \cdot 116 \text{ keq daa}^{-1} = \underline{\underline{2320 \text{ kg daa}^{-1}}}$$

Aktuelt vanninnhold Vanninnhold ved prøveuttak

Vannlagringsevne: Vanninnhold (Volumprosent, vektprosent, eller mm) ved en gitt dreneringslikevekt.

Feltkapasitet: Vanninnhold i naturlig jordsmonn ved dreneringslikevekt. Måling av feltkapasitet: Vannmetning av jordsmonnet - dekking mot fordamping - måling av vanninnhold 2-4 dager etter metning.

Visnegrense: Vanninnhold i rotsonen, når plantene visner permanent.

Måling av visnegrense: Dyrking av planter i små beholdere, der jordoverflaten er dekket mot fordamping - påfylling av vann til naturlig vannlagringsevne for jorda i beholderne - uttørking til plantene visner og ikke kommer seg ved overføring til dampmettet atmosfære.

Under norske forhold:

Vannlagringsevne (0,1 bar)  $\approx$  Feltkapasitet

Vannlagringsevne (15 bar)  $\approx$  Visnegrense

Nyttbar vannlagringsevne (under feltforhold) = Feltkapasitet - Visnegrense

Fysisk nyttbar vannlagringsevne = Vannlagringsevne (0,1 bar) - Vannlagringsevne (15 bar)

Nyttbar vannlagringsevne i veksthusjord =

Karkapasitet (pottekapasitet, bassengkapasitet) - Visnegrense

Fysisk nyttbar vannlagringsevne i veksthus  $\approx$  Vannlagringsevne (0,01 bar) - vannlagringsevne (15 bar)

Normalt er den øvre grensen for det nyttbare vannlagret variabel. I jord med naturlig drenering, dypt grunnvannsnivå og forholdsvis fin kornfordeling (mye silt) kan den øvre grensen - dvs. feltkapasitet - svare til et dreneringssug på 0,2 - 0,3 bar. Dette kan gjelde for løssavsetninger i Mellom-Europa og USA. I jord med dårlig drenering kan dreneringssuget ved likevekt svare til



0,05 bar. De fleste undersøkelser ved Institutt for jordkultur tyder på at feltkapasitet svarer til et dreneringssug på ca. 0,1 bar - tilsvarende likevekt med et grunnvannsnivå 1 m under prøveuttaket.

Biologisk nyttbar vannmengde: Den vannmengden vedkommende plantebestand kan ta opp fra jorda.

Biologisk nyttbar vannlagringsevne  $\ll$  Fysisk nyttbar vannlagringsevne.

Beregning av stige ~~høyde~~ i kapillærrør:

$$\text{Kraft ned} \quad F_g = mg = \rho Vg = \rho Ahg = \rho \pi r^2 hg$$

$$\text{Kraft opp} \quad F_o = 2T\pi r \cos v$$

$m$  = masse av vann i kapillærrøret

$V$  = volum " " " "

$\rho$  = tetthet av vann =  $1 \text{ kg dm}^{-3}$

$g$  = tyngdeakselerasjon =  $9,81 \text{ ms}^{-2}$

$r$  = rørradius, m

$T$  = overflatespenning  $0,075 \text{ Nm}^{-1}$

$v$  = kontakt-vinkel vann-glass

$$\text{Likevekt} \quad F_g = F_o$$

$$\rho \pi r^2 hg = 2T\pi r \cos v$$

$$h = 2T \cos v / \rho g r$$

Ved innsetting av gitte størrelser, samt ved forutsetning av at  $v = 0$ , får vi

$$h = 2 \cdot 0,075 \text{ Nm}^{-1} / (1000 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot r)$$

$$h = 0,00015/r = 1,5 \cdot 10^{-5}/r$$

$$\text{Sett } r = 0,3 \text{ mm} = 0,0003 \text{ m}$$

$$\underline{h} = 0,00015/0,0003 = 0,05 \text{ m} = \underline{5 \text{ cm}}$$

Ved innsetting i cm

$$h = 0,15/r = 0,15/0,03 = \underline{5 \text{ cm}}$$

VannstrømningDarcy's lov (1856)

$$Q/(At) = v = \frac{K\Delta H}{L}$$

$$= -KdH/dx$$

Q = vannmengde, m<sup>3</sup>

A = tversnittsareal, m<sup>2</sup>

t = tid, s

v = vannstrømtetthet, ms<sup>-1</sup>

K = vannledningsevne, ms<sup>-1</sup>

H = vann-nivå, m

L = strømlengde, m

dH/dx = hydraulisk gradient

Generelt er H = h + z

H = Vann-nivå, hydraulisk høyde

h = trykkhøyde

z = geometrisk høyde

Darcy's lov kan skrives på annen måte:

$$Q/(At) = -k(\rho/\eta)(d\phi/dx)$$

$\phi = gH = \text{totalpotensial, Jkg}^{-1}$

$\rho = \text{tetthet for vann, kgm}^{-3}$

$\eta = \text{viskositet, Nsm}^{-2}$

k = permeabilitet, m<sup>2</sup>

Vi har:

$K = k\rho g/\eta$ , hvor k er en "jordkonstant"

Poiseuille's lov (1844):

$$Q/(At) = -(r^2/8\eta)(dP/dx)$$

r = radius av kapillærrør, m

dP/dx = trykkgradient

r<sup>2</sup> er en slags permeabilitet.

Gradient er tilvekst i en skalarstørrelse i den retningen tilveksten er størst

Drivende kraft = - Gradient

Retningen for den drivende kraften er fra større mot mindre skalarverdi. Strømretningene er alltid med den drivende kraften og mot gradienten.

Potensiell fordamping: Fordamping fra en tett, kort plantebestand hvor vann ikke er en begrensende vekstfaktor  
 Potensiell fordamping  $\approx$  "Vannbehov"

### Lufta i jorda

Aktuelt luftinnhold: Volumprosent luft ved prøveuttak

Drenerbart porevolum: Volumprosent luft ved feltkapasitet

Volumprosent luft (0,1 bar). Volumprosent luft ved et dreneringssug på 0,1 bar.

Massestrøm:  $Q/(At) = -K(dp/dx)$

$K$  = luft-ledningsevne

$dp/dx$  = gradient for totaltrykk

eller  $Q/(At) = (-k/\eta) (dP/dx)$

$k$  = luftpermeabilitet

$\eta$  = luftens viskositet,  $\text{Nsm}^{-2}$

Diffusjon:  $Q/(At) = (D/\beta)(dp'/dx)$

$D$  = Diffusjonskonstant for  $\text{O}_2$  i jord,  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$

$p'$  = partialtrykk av gass

$\beta$  = proporsjonalitetsfaktor

$D/Do = k \cdot V_l^n$

$Do$  = diff.konstant for  $\text{O}_2$  i atmosfæren

$D$  = " " " " " jord

$k$  = faktor

$V_l$  = luftfylt porevolum

$n$  = eksponent  $1 < n < 1,5$

$D(l)/D(\text{H}_2\text{O}) > 10\ 000$

$D(l)$  = diff.konst. for  $\text{O}_2$  i luft

$D(\text{H}_2\text{O})$  = " " " " vann

Redoxpotensial  $E = E^\circ + (RT/zF) \ln (\text{ox}/\text{red})$

$E$  = Redoxpotensial mV

$E^\circ$  = Standardpotensial mV

$R$  = gasskonstant  $8,3 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$

$T$  = temperatur, K

$z$  = valens

$F$  = Faraday's konstant  $96\ 500$  coulomb/mol

(ox) = konsentrasjon av oksydert del

(red) = " " " redusert "



Varmeforhold i jordaVarmekapasitet = VarmelagringsevneVolumetrisk varmekapasitet for jord:

Mineraler	2,1 kJdm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
Is	2,0 "
Vann	4,2 "
Luft	0,0013 "

Strålingsenergi (enhet J)

$$R_i = R_k + R_l + R_n, J$$

$$R_i = \text{totalstråling, kortbølget, } Jm^{-2}$$

$$R_k = \text{reflektert stråling, " } , Jm^{-2}$$

$$R_l = \text{utstråling, langbølget, } Jm^{-2}$$

$$R_n = \text{netto innstråling = strålingsbalanse, } Jm^{-2}$$

albedo = prosent refleksjon

$$R_l = \sigma \cdot T^4 \text{ Stefan-Boltzmann's lov}$$

$$T = \text{temperatur av jordoverflaten, K}$$

$$\sigma = \text{konstant, } 56,703 \text{ nWm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

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

$$S = \text{energi til oppvarming av jord, } Jm^{-2}$$

$$A = \text{energi " " " luft, } Jm^{-2}$$

$$E = \text{energi " fordamping, } Jm^{-2}$$

$$P = \text{energi " fotosyntese, } Jm^{-2}$$

(alle målt pr dag)

VarmestrømFourier's 1. lov (1807)  $Q/(At) = -KdT/dx$ 

Stasjonær strømming

$$Q = \text{varmemengde, J}$$

$$A = \text{tverrsnittsareal, } m^2$$

$$t = \text{tid, s}$$

$$dT/dx = \text{temperaturgradient, } Km^{-1}$$

$$K = \text{varmeledningsevne } Wm^{-1}K^{-1}$$

Fourier's 2. lov

$$dT/dt = D_T(d^2T/dx^2)$$

Oppvarming

$$T = \text{temperatur, K}$$

Avkjøling

$$t = \text{tid, s}$$

$$D_T = \text{temperaturledningsevne, } m^2s^{-1}$$

## Utleddning:

Ikke-stasjonær strømming (oppvarming eller avkjøling).

Vi betrakter en skive med areal  $A$  og tykkelse  $\Delta x$

Lagerendring = Varme inn - Varme ut

Temperatur inn =  $T$

" ut =  $T - (dT/dx)\Delta x$

$\Delta x$  = tykkelse av skive

$dT/dx$  = temperaturgradient

Varme inn  $Q_i = -K(dT/dx)Adt$

" ut  $Q_u = -K(d(T - \Delta x dT/dx)/dx)(Adt)$

$Q_i - Q_u = -K(d^2T/dx^2)\Delta xAdt$   
 $dt$  = tidsendring, s

Lagerendring  $Q_i - Q_u = C_v \cdot A \Delta x \cdot dT$

$C_v$  = Volumetrisk varmekapasitet,  $Jk^{-1}m^{-3}$

$A \Delta x$  = volum av skive,  $m^3$

$d_T$  = temperaturendring K

$C_v \cdot A \Delta x \cdot d_T = -K(d^2T/dx^2)\Delta xAdt$

$dT/dt = -(K/C_v)(d^2T/dx^2)$

$dT/dt = -D_T d^2T/dx^2$

Her er  $D_T = K/C_v$

$D_T$  kan beregnes etter måling av temperaturer i ulike jorddybder som funksjon av tid:

$$D_T = \frac{\pi(z_2 - z_1)^2}{t'((2.303 \lg(A_1/A_2)))^2}$$

$D_T$  = temperaturledningsevne,  $m^2s^{-1}$

$z_1, z_2$  = jorddybder, m

$t'$  = periode for temperaturbølgen  
(enhet må svare til  $D_T$ )

$A_1, A_2$  = Temperaturamplitude ved  $z_1, z_2$ , K

Hvis det er perioden 1 døgn som brukes, må  $t'$  oppgis som døgn og  $D_T$  i  $m^2døgn^{-1}$ , eller som 86400 s og  $D_T$  i  $m^2s^{-1}$

Telehastighet (omarbeidd etter S. Andersson)

$$v = \frac{dz}{dt} = \frac{100 \text{ K}}{LW} \left( \frac{T}{Z_{\text{tns}}} - a \right)$$

$v$  = telehastighet,  $\text{ms}^{-1}$  eller  $\text{m d\o{g}n}^{-1}$

$z$  = dybde av tele, m

$t$  = tid, s eller d\o{g}n

$K$  = varmeledningsevne i frosset jord  $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

$K_s$  = varmeledningsevne i sn\o,  $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

$n = K/K_s$  ( $2 < n < 20$ )

$w$  = vanninnhold, vol%

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

$s$  = sn\o dybde, m

$a$  = temperaturgradient under telelaget,  $\text{K m}^{-1}$

$T$  = temperaturforskjell mellom smeltepunkt for is og sn\o overflate, K (Hvis sn\o overflaten har en temperatur p\aa 268 K ( $-5^\circ\text{C}$ ) blir forskjellen  $273 \text{ K} - 268 \text{ K} = 5 \text{ K}$  (evt.  $0^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C}) = 5^\circ\text{C}$ )

Frysepunkt nedsetting for vann med en gitt bindingsenergi

$$\Delta T = (p/\rho) (T/L)$$

$\Delta T$  = frysepunkt nedsetting, K

$p$  = sug, Pa

$\rho$  = tetthet for vann,  $1000 \text{ kg m}^{-3}$

$T$  = Temperatur ved normalt frysepunkt, for vann  
273 K

$L$  = smeltevarme for is  $336 \text{ kJ kg}^{-1}$

Eks.  $p = 15 \text{ bar} = 15 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  (tilsvarende visnegrense)

$$\Delta T = (15 \cdot 10^5 / 1000) (273 / 336\,000) \text{ K}$$

$$\Delta T = \underline{1,22 \text{ K}}$$

## Jordas mekaniske egenskaper

### Kornstørrelse

Sedimentasjon av kuleformede jordpartikler i vann

#### 1. Væskemotstand (viskøs kraft mot bevegelse)

$$F_v = 3\pi\eta vd \quad (\text{Stokes' lov})$$

$F_v$  = viskøs motstand, N

$$\pi = 3,14$$

$\eta$  = viskositetskoeffisient,  $\text{Nsm}^{-2}$

$v$  = hastighet,  $\text{ms}^{-1}$

$d$  = kulediameter, m

#### 2. Oppdrift

$$F_o = (\pi/6)d^3\rho_w g \quad (F = mg = V\rho g)$$

$F_o$  = oppdrift, N

$\rho_w$  = tetthet for vann, tilnærmet  $1000 \text{ kgm}^{-3}$

$g$  = tyngdeakselerasjon  $9.8 \text{ ms}^{-2}$

#### 3. Tyngde

$$F_g = (\pi/6)d^3\rho_s g$$

$F_g$  = Tyngde, N

$\rho_s$  = tetthet for jordmateriale,  $\text{kgm}^{-3}$

Jamn hastighet:

$$F_v + F_o = F_g$$

$$F_v = F_g - F_o$$

$$3\pi\eta vd = (\pi/6)d^3g(\rho_s - \rho_w)$$

$$v = \underline{\underline{(1/18)d^2g(\rho_s - \rho_w)/\eta}}$$

Rundhet: (Volum av partikkel/volum av omskrevet kule)<sup>1/3</sup>



Fasthet = Motstand mot formendring

Fasthetstilstander: Fast - Halvfast - Plastisk - Flytende

Fasthetstilstand = Konsistens

Plastisk = Formbar

Øvre plastisitetensgrense = Flytegrense

Nedre " = Utrullingsgrense

Plastisitetsindeks = Flytegrense - Utrullingsgrense

Skjærfasthet = motstand mot formendring ved påvirkning av en tangentialspenning.

Trykk = Kraft/Flate (Kraft er en ytre kraft)

Spenning = Reaksjonskraft/Flate (Kraft er en indre kraft)

Coulombs lov:  $s = c + \sigma \tan v$

$s$  = skjærfasthet, Pa, kPa, bar

$c$  = kohesjon, Pa, kPa, bar

$\sigma$  = normalspenning, Pa, kPa, bar

$v$  = friksjonsvinkel

Young: Spenningsendring/Formendring = Elastisitetsmodul  
(Hookes lov)

For volumendringer:  $-\Delta V/V = \frac{1}{k} \cdot \Delta p$

$\Delta V$  = volumendring, m<sup>3</sup>

$V$  = startvolum, m<sup>3</sup>

$p$  = spenningsendring, Pa, bar

$k$  = volummodul, Pa, bar

$1/k$  = kompressibilitet, Pa<sup>-1</sup>, bar<sup>-1</sup>

For lengdeendringer:  $\Delta l/l_0 = (1/y)\Delta p$   
 $\Delta l$  = lengdeendring, m  
 $l_0$  = startlengde, m  
 $Y$  = Youngs modul, Pa, bar  
 $\Delta p$  = spenningsendring

I dette tilfelle er det snakk om strekkspenninger og strekk.

Marktrykk = Last/Anleggsflate

$$p = W/A$$

Letoshnev

$$p = kz^n \quad \text{el. } z = (p/k)^{1/n}$$

$p$  = marktrykk, Pa, bar

$z$  = nedsynking, m

$k$  = nedsynkingsparameter

$n$  = nedsynkingsekspONENT ( $1 < (1/n) < 2$ )

Forholdet mellom marktrykk og lufttrykk:

$$p = p_l + p_s$$

$p$  = marktrykk, Pa, bar

$p_l$  = lufttrykk i dekk, Pa, bar

$p_s$  = dekkstivhet, Pa, bar

Skyvekraft, rullemotstand, trekraft

Coulombs lov

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

$$sA = CA + (W/A)A \tan \nu$$

$$S = CA + W \tan \nu$$

$A$  = areal anleggsflate,  $m^2$

$W$  = last, N

$S$  = skyvekraft, reaksjonskraft, N

Bakkekraft (med eller mot)

$$B = W \sin \alpha$$

$\alpha$  = hellingsvinkel

$B$  = bakkekraft, N

Rullemotstand = Pakkingsmotstand + Bulldosing - motstand +  
 Varmgang i dekk

$$R = R_p + R_b + R_d$$

Trekraft (på trekkroken) = Skyvekraft  $\pm$  Bakkekraft  $\pm$  Rullemotstand

$$T = S - R$$

$$T = S - R_p - R_b - R_d \pm B$$

## JK 3 - Jordfysikk

### Størrelser og enheter

#### Grunn-enheter i SI systemet

Størrelse	Enhet	Forkortelse
Lengde	meter	m
Masse	kilogram	kg
Tid	sekund	s
Elektrisk strøm	ampere	A
Temperatur	kelvin	K (1K=1°C)
Lysstyrke	candela	cd
Stoffmengde	mol	mol

#### Desimale multipler

P	peta	$10^{15}$
T	tera	$10^{12}$
G	giga	$10^9$
M	mega	$10^6$
k	kilo	$10^3$
h	hekto	$10^2$
da	deka	$10^1$
d	desi	$10^{-1}$
c	centi	$10^{-2}$
m	milli	$10^{-3}$
$\mu$	mikro	$10^{-6}$
n	nano	$10^{-9}$
p	piko	$10^{-12}$
f	femto	$10^{-15}$
a	atto	$10^{-18}$

#### Størrelser = Måltall · enhet

l Eks. Lengde = 4m

#### Navn på størrelser, enheter

Symbol	Størrelse	Enhet	Merknad
l	Lengde	m	
A	Areal	m <sup>2</sup>	
		daa	1 dekar = 1 dekaar = 1000m <sup>2</sup>
		ha	1 hektar = 1 hektoar = 10 000m <sup>2</sup>
		acre	1 acre = 4046,86m <sup>2</sup>

Symbol	Størrelse	Enhet	Merknad
V	Volum	$m^3$ $dm^3$	$1 dm^3 = 10^{-3} m^3$ , 1 liter $\stackrel{def}{=} 1 dm^3$
		gal (UK)	1 gallon = 4,55 $dm^3$
		gal (US)	1 gallon = 3,79 $dm^3$
		bu (US)	1 bushel = 35,24 $dm^3$
t	Tid	s	
		min	1 min = 60 s
		time (h)	1 time = 60 min = 3600 s
		døgn (d)	1 døgn = 24 timer = 24h = 86400 s
		år (a)	1 tropisk år = 365d 5h 48min 46s
$\phi$ $\delta$	Vinkel	rad	planvinkel: $\phi = b/r$ b=bue r=radius
		sr	romvinkel, steradian $\delta = A/r^2$ , A=areal
v	Hastighet		
	Fart	$ms^{-1}$	$v = ds/dt$ , s = veilengde, t = tid
		kn	1 knop = 1852 $mh^{-1} = 0,51444 ms^{-1}$
$\omega$	Vinkel- hastighet	$s^{-1}$	$\omega = d\phi/dt$ $s^{-1} = rads^{-1}$
a	Akselerasjon	$ms^{-2}$	$a = dv/dt$
g	Tyngde akselerasjon		$g = 9,80665 ms^{-2}$
m	Masse	kg	
		t	1 tonn = $10^3 kg = 1 Mg$
		u	atommasseenhet = 1u = $1,660566 \cdot 10^{-27} kg$
		karat	1 metrisk karat = 200 mg
		lb	1 pound (avoirdupois) = 0,45359 kg
$\rho$	Tetthet Densitet	$kgm^{-3}$	$10^3 kgm^{-3} = 1 tm^{-3} = 1 kgdm^{-3} = 1 gcm^{-3}$
F	Kraft (Tyngde)	N	1 Newton = $1 kgms^{-2}$ (F = ma)
		kp	1 kilopond = 9,80665 N
		dyn	1 dyn = $1 gcms^{-2} = 10^{-5} N$
E	Energi	J	1 J = 1 Nm = $1 kgm^2s^{-2} = 1 Ws$
		cal <sub>15</sub>	1 cal <sub>15</sub> = (4,185 ± 0,0005) J
		erg	1 erg = 1 dyncm = $10^{-7} J$
		kWh	1 kWh = 1000 W · 3600s = 3,6 MJs = 3,6 MJ
		eV	1 eV = 0,160219 a J (elektronvolt)
			1 aJ = $10^{-18} J$



Symbol	Størrelse	Enhet	Merknad
P	Effekt	W hk hp	$1 \text{ W} = 1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ kgm}^2 \text{ s}^{-3}$ $1 \text{ hk} = 75 \text{ kpms}^{-1} = 737,499 \text{ W (hestekraft)}$ $1 \text{ hp} = 745,7 \text{ W (horsepower)}$
M	Kraftmoment (Vrimoment)	Nm	$1 \text{ Nm} = 1 \text{ kgm}^2 \text{ s}^{-2}$ $M = r \times F$
qm	Massestrøm	$\text{kg s}^{-1}$	$qm = m/t = \rho vA$
qv	Volumstrøm	$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	$qv = V/t = vA$
$\eta$	Viskositet	$\text{Nsm}^{-2}$ P	$dF/dA = \eta dv/dz$ $1 \text{ P} = 1 \text{ dynscm}^{-2} = 0,1 \text{ Nsm}^{-2} \text{ (P=poise)}$
$\sigma$ d.T	Overflate- spenning	$\text{Nm}^{-1}$	
P	Trykk, spenning	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Nm}^{-2} = 1 \text{ kgm}^{-1} \text{ s}^{-2} \text{ (Pa=pascal)}$
$\sigma$	normal spenning,		
$\tau$	skjærspenning fasthet)	bar atm at cm H <sub>2</sub> O mm Hg psi	$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa (standard atmosfære)}$ $1 \text{ at} = 1 \text{ kpcm}^{-2} = 98,0665 \text{ kPa}$ $1 \text{ cm H}_2\text{O} = 10^{-3} \text{ kpcm}^{-2} = 98,0665 \text{ Pa}$ $1 \text{ mm Hg} = 13,5951 \text{ mm H}_2\text{O} = 133,322 \text{ Pa}$ $1 \text{ psi} = 1 \text{ lbin}^{-2} = 6,89476 \text{ kPa}$
$\epsilon$	Relativ lengde- endring		$\epsilon = \Delta l/l_0$
$\theta$	Relativ volum- endring		$\theta = \Delta V/V_0$
E	Elastisitets- modul	Pa	$E = \sigma/\epsilon = d\sigma/(dl/l)$ (Youngs modul)
K	Kompressi- bilitets- modul	Pa	$K = -p/\theta = -dp / (dV/V)$
k	kompressi- bilitet	$\text{Pa}^{-1}$	$k = 1/K = - dV/Vdp$
Q	Varme	J	
S	Entropi	$\text{JK}^{-1}$	
q	Spesifikk varme	$\text{Jkg}^{-1}$	

Symbol	Størrelse	Enhet	Merknad
L	Latent varme (smelte- varme, for- dampings- varme)	J	
Lm	Spesifikk latent varme	Jkg <sup>-1</sup>	
C	Varme- kapasitet	JK <sup>-1</sup>	
Cm	Spesifikk varmekapa- sitet, spes. varmelagrings- evne	Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	
Cv	Volumetrisk varmekapa- sitet. Vol. varmelagrings- evne	Jm <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>	
$\Phi$	Varmestrøm	W	$\Phi = Q/t = Ws^{-1} = W$
q	Varmestrøm- tetthet	Wm <sup>-2</sup>	$q = Q/At = Ws^{-1}m^{-2} = Wm^{-2}$
K	Varmeled- ningsevne (termisk kon- duktivitet)	WK <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>	$q = -KdT/dx$
	Temperatur- ledningsevne (termisk dif- fusivitet)	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	$a = K/Cv$
$\Phi_s$	Strålingsstrøm	W	
$\Phi_l$	Lysstrøm	lm	1 lm = 1 cdsr
I <sub>s</sub>	Strålings- styrke	Wsr <sup>-1</sup>	
I <sub>l</sub>	Lysstyrke	cd	
E <sub>s</sub>	Lysstrålings- tetthet (Irradians)	Wm <sup>-2</sup>	
E <sub>l</sub>	Belysnings- tetthet (Illuminans)	lx	1 lx = 1 lmm <sup>-2</sup>
K	Lysutbytte	lmW <sup>-1</sup>	$K = \Phi_l / \Phi_s$

Symbol	Størrelse	Enhet	Merknad
C	Konsentrasjon	$\text{mol/m}^3$ $\text{mol/dm}^3$	En oppløsning er $\gamma$ -molar, når $C = \gamma \text{ moldm}^{-3}$
$\sigma$	Elektrisk ledningsevne (elektrolytisk konduktivitet)	$\text{Sm}^{-1}$	S = Siemens $1 \text{ S} = 1 \text{ mho} = 1 \text{ ohm}^{-1}$
D	Diffusjonskoeffisient	$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$	
Q	Elektrisk ladning	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ As}$ (Coulomb)
I	Elektrisk strøm	A	$I = dQ/dt$
V	Elektrisk potensial, spenning	V	(Volt)
C	Kapasitans	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ CV}^{-1}$
R	Resistans	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ ohm}$
$\rho$	Resistivitet	$\Omega \text{ m}$	
P	Effekt	W	$P = VI$

1432 AS-NLH, november 1979

A. Njøs  
A. Njøs

## Lagring av vann i noen profiler på Østlandet

Av

Arnor Njøs

### Innledning

Jordsmonnet fungerer som vokseplass, kjørebane og filter. Evnen til å lagre vann er en av de viktigste egenskapene for jordsmonnet som vokseplass. Holder vi en svamp under vann og løfter den opp, vil mye vann renne ut, men noe blir tilbake som et lager. Hvis svampen holdes flatt og deretter bikkles over på kant, renner mere vann ut. Dreies svampen slik at den får størst mulig høyde, renner enda mer vann ut.

I naturen er det alltid en kamp mellom bindingskrefter og spredningskrefter. I vårt eksempel er det tyngdekraften som prøver å fjerne vannet fra svampen, mens bindingskreftene for enkelthets skyld kan kalles kapillærkrefter. Hvis lufta rundt svampen ikke er mettet med vanddamp, vil det dessuten dampe vann vekk fra svampen.

Vi tenker oss at hulrommene i svampen består av ulike store rør, kapillær-rør. De største rørene er fylt bare i det aller nederste nivået i svampen, mens de fineste er fylt til øverste ende. I helt rene glassrør er det ved normal temperatur denne sammenhengen mellom stighøyde og rørdiameter:

$$h = \frac{0,3}{d} \quad (1)$$

$h$  = stighøyde, cm

$d$  = rørdiameter, cm

Hvis rørdiameteren er 1 mm = 0,1 cm er stighøyden 3 cm.

Forutsetningen for at vannet skal lagres i jorda er at det er passe store porer og at vannet tiltrekkes av poreveggene. I uttørket, fettaktig torv kan det være vanskelig å få vannet til å trekke inn. Det samme hender av og til på uttørket, humusrik sand.

### Jordas rolle som vann-leverandør til plantene

I vekstsesonen forbruker plantene vann fordi vanndamptrykket i lufta er mindre enn i cellene. Sola leverer energi til fordampingen og luftbevegelse (vind) flytter vekk den fuktige lufta helt inn til bladplatene. Det kreves en energimengde på 700 kWh til fordampning av 1 tonn vann - til fordampning av 1 mm på 1 dekar. Den totale innstrålte energien - globalstrålingen - er i sommertiden oppe i 5000 - 6000 kWh pr. dekar i døgnet, mens nettoenergien eller strålingsbalansen er en god del mindre. Hvis den er halvparten av globalstrålingen, er det likevel nok til rundt 4 mm fordampning. Jordas vannforsyningssevne kan sette grense for plantenes fordampning. Hvis spalteåpningene lukkes, stopper fotosyntesen opp.

De fleste kulturplantene visner når luftfuktigheten i porene i jorda kommer under 98,9%. Denne visnegrensen svarer til at vi driver vann ut av jorda med et overtrykk på 15 bar. Den tørre lufta rundt bladene kan på tørre sommerdager svare til at vannet drives ut med en trykkforskjell på rundt 1000 bar! Mens den nedre grensen er forholdsvis klar, kan det være vanskeligere å fastslå den øvre grensen. Under feltforhold på dyrka jord innen Østlandsområdet har det vist seg at den øvre grensen for lagringsdyktig vann i jorda svurer til en dreneringslikevekt ved 1 m sug, eller at det vannet som er igjen i jorda kan stå imot et utdrivingstrykk på 0,1 bar. I veksthus med grunne bed og potter er den øvre grensen bestemt av dreneringsdybden.

Det vannet plantene kan bruke er: Felthkapasitet - Visnegrense = Nyttbart vann. Dette er det vannet som kan brukes, hvis røttene er i stand til å gjennomveve hele jordvolumet, eller hvis forbruket ikke er raskere enn at vannet kan strøme kapillært fra rommet mellom røttene fram til rotoverflatene. I praksis kan vi egentlig kalle den nyttbare vannmengden som er bestemt med fysiske målinger for fysisk nyttbart vann, og den vannmengden røttene tar opp, for biologisk nyttbart vann. Den siste mengden er sterkt avhengig av rotutviklingen og av hvor fort vannet fordamper fra plantene.

### Nyttbart vannlager og jordart

Det er tidligere vist i undersøkelser ved Institutt for jordkultur at nyttbar vannmengde er korrelert med kornstørrelsen, og at den vanligvis er størst i siltjordene. I tabell 1 er satt opp noen korrelasjonskoeffisienter:



Tabell 1. Korrelasjonskoeffisienter for sammenhengen mellom volumprosent vann og kornstørrelsesfraksjon (Njøs og Sveistrup, 1977).

Kornfraksjon	Volumprosent	
	Nyttbart vann	Visnegrense
% leir	0,4 til 0,5***	0,8*** til 0,9***
% silt	0,8***	-
% sand	-0,4*** til -0,8***	-0,4**

Tallene viser tydelig at det er siltfraksjonen som er sterkest korrelert med nyttbart vann (målt som forskjell mellom vannmengde ved 0,1 bar og 15 bar) og at det er leirfraksjonen som er sterkest korrelert med visnegrensen. Det er også grunn til å legge merke til den negative korrelasjonen mellom sandfraksjonen og nyttbart vann. Regresjonskoeffisienten for volumprosent vann ved visnegrensen i forhold til prosent leir er vanligvis av størrelsen 0,4 til 0,5, med et lite konstantledd. Se f.eks. Frestvik (1975). Virkningen av moldinnholdet er å modifisere jordartene mot midten, dvs. gi noe av de samme egenskapene som for silt når det gjelder vannlagring. Når det gjelder luft derimot, er virkningen av organisk materiale å gjøre tette jordarter mere lik sand.

#### Lagring av vann i noen profiler på Østlandet

##### 1. Leirjordsområdet

I fig. 1 er vist volumdiagrammer for to typiske leirjordsprofiler. Jordartsnavn er tatt fra jordartstrekanten i fig. 4 (Njøs og Sveistrup, 1977).

Den siltige mellomleira fra Hole i Buskerud er nokså typisk for mange leirer i Østfold, Akershus, Buskerud og Vestfold. Innholdet av nyttbart vann er stort i ploglaget, men avtar nedover i profilet, samtidig som visnegrensen øker fra 12 volumprosent i topplaget til 22 volumprosent i det nederste laget. Det er ellers antydning til plogsåledanning i 25 - 35 cm dybde. Ved normal drenering fins det nesten ikke luft i dette laget. Luftinnholdet er for øvrig lite hele veien ned mot 1 m dybde. Jordreaksjonen målt ved pH var 6,2 i ploglaget og steg fra pH 7,1 til 7,6 fra lag 2 til det nederste laget. De høye tallene for pH har uten tvil sammenheng med at dette profilet ligger i et kambrosilurområde. Som totalt nyttbart vannlager i den øverste meteren er målt 176 mm. I praksis er imidlertid rotutviklingen for svak til å utnytte hele denne mengden.

Den stive leira fra Askim er kanskje noe stivere enn midlet for slike leirjorder. Leirinnholdet stiger fra 53 prosent i topplaget til 63 prosent i det andre laget og til 73 prosent i de to nederste lagene. De tre lagene under ploglaget kan karakteriseres som svært stiv leire.

Det mest slående ved diagrammet er den store mengden av ikke nyttbart vann. Regnet fra ploglaget og nedover er det henholdsvis 23 - 28 - 34 - 36 volumprosent. På samme måte er mengden av nyttbart vann 19 - 11 - 8 - 5 volumprosent! - Det er ikke vanskelig å forstå hvorfor planerte leirområder har lett for å gi tørkeskader dersom det ikke er tatt vare på matjorda! Vi legger merke til plogsåle- eller trafikksåleutvikling fra 25 - 40 cm. For øvrig er mengden av luftfylte porer avskrekkende liten. Den totale mengden av nyttbart vann er beregnet til 103 mm, langt mindre enn i profilet fra Hole.

pH varierte fra 6,0 i 0 - 70 cm dybde til 6,7 i 70 - 100 cm dybde. Dette profilet ligger i grunnfjellområdet.

## 2. Raet i Østfold

I fig. 2 er vist to volumdiagrammer for jord på utsiden av raet i Østfold. Dette er typisk grovkornet jordsmonn over havleire. I profilet fra Rygge er det en skarp grense mellom sand og lettleire ved 58 cm og i profilet fra Halden ved 74 cm dybde. Porestørrelsefordelingen er svært grov over denne grensen, med stort innhold av luftførende porer ved 0,1 bar (feltkapasitet). I profilet fra Rygge er mengden av nyttbart vann: 17 - 7 - 10 - 11 volumprosent, regnet lagvis fra ploglaget og nedover. Den totale mengden av nyttbart vann er beregnet til 106 mm, altså like mye som i den stive leira i Askim. Fra praksis vet en at jorda i Rygge er adskillig mer utsatt for tørke. Hvorfor? Forklaringen er enklest å komme fram til ved å bruke en kapillærmodell. Ploglaget er forholdsvis finporet på grunn av moldinnholdet, ca. 7 prosent. Det neste laget består av nesten ren sand med grove porer. Etter høsten og vinteren henger vannsøylene fra ploglaget helt ned til leira, og mange av de grove porene i sandlaget er fylt. Se stiplet linje for lag 2 i fig. 2. Om våren, når planteveksten begynner å forbruke vann, er det rask vekst til røttene når bunnen av ploglaget. Da, eller til og med før, har det kommet luft til de grove porene i sandlaget, og nesten alt vannet faller ut. I tørkeperioder har veksten lett for å stoppe brått på denne sandjorda, mens den fortsetter langsomt videre på leirjorda. Den effektive vannmengden er altså ikke stort mer enn det som er lagret i ploglaget.

Denne jorda kan på den annen side gjøre seg stor nytte av mindre regnskurer i sommertiden ved at den da får en ny dreneringslikevekt, nemlig den som svarer til ca. 20 cm dreneringsdybde eller 0,02 bar. Ved denne tilstanden kan ploglaget lagre ca. 50 mm nedbør. Fortsetter det imidlertid å regne etter fylling, faller ca. 15 - 16 mm vann ut av ploglaget ved å "fingre" seg ned - og tar med seg nitrogen og andre mobile næringsstoffer samtidig.

Profilen i Halden har dypere sandlag, og et markert grovt sandlag like over leira. De nyttbare vannlagene i hvert lag er regnet ovenfra: 42 - 15 - 7 - 29 mm, eller tilsammen 93 mm. Men som i Ryggeprofilen er det effektive nyttbare vannlaget ikke stort mer enn det som er lagret i ploglaget. Ved regnskurer i sommertiden kan ploglaget lagre ca. 70 mm, men igjen med de samme riskene for overfylling og utvasking. Moldinnholdet i topplaget var ca. 7 prosent. I begge profiler har nederste sandlag pH 5,4, mens leira under sandlaget har pH 5,9 eller høyere.

### 3. Lagdekk jord på Romerike

I fig. 3 er vist volumdiagram for to profiler på Romerike. Profilen øverst er en typisk mjelejord med sandig silt i de to øvre lagene, deretter siltig sand og nederst stiv leire. Det øvre laget i mjelejorda er svært moldrikt, fordi det er en oppdyrket myr. Denne jorda har nærmest "uendelige" vannreserver i profilen, bare i de to øvre lagene er det 135 mm nyttbart vann, og i resten av profilen 131 mm. Rotutviklingen kan være svak i dypere lag, men det er sjelden grunn for plantene til å gå særlig dypt. Det kan nevnes at det var store avlinger av korn på dette feltet i 1976. (Fra 475 kg til 566 kg havre pr. dekar.) I lag nr. 3 var jordreaksjonen målt til pH 5,2 - 5,5, mens pH var 6,3 i leira like under.

Profilen med lettleire på toppen har gunstig vannlagring i de to øvre lag, tilsammen 119 mm, deretter et røtsperrelag med 25 cm tykkelse, vesentlig middels sand med et nyttbart vannlager på 15 mm. Denne jorda vil ha tilstrekkelig vannforsyning i de fleste år, men ikke i typiske tørkeår. Det nederste laget var stiv leire med pH 5,7 og visnegrense 33 volumprosent. Topplaget i denne jorda er sammenlinbart med en god del jord i Follo.

#### Praktiske konsekvenser

De stive leirene har ikke noe stort nyttbart vannlager. Både disse og de siltige mellomleirene har porer i dypelag. De har alle en naturlig drenering. Etter at de ble grøftet, har de langsomt

begynt å få en sterkere oppsprekking i dypere lag, noe som på lengre sikt kan føre til dypere og tettere rotutvikling. En må regne med liten infiltrasjonsevne når jorda er vannmettet. Men dessuten er disse leirjordene utsatt for utvasking og vanntap gjennom tørkesprekker når det vannes med store vannmengder etter en lengre tørkeperiode. Ofte kan det være avgjørende for rotutviklingen at det blir startet med vanning på et tidlig stadium, slik at røttene greier å komme seg gjennom trafikksålen under ploglaget. Til korn kan det av og til være nok med denne tidlige vanningen.

På planert leirjord må det være riktig å unngå dyp pløying, og i stedet prøve å bygge opp moldinnholdet i et matjordlag med moderat tykkelse.

En må ha lov til å regne med en positiv langtidsvirkning av dypere grøfting enn i dag.

Lettleirene har en bedre vannhusholdning enn de stive leirene og mellomleirene. De siltige lettleirene er imidlertid utsatt for tilslemning etter nedbør på åpen jord.

De lagdelte sandjordene er tørkesvake. Ved vanning må vannmengden avpasses etter risikoen for utvasking. Hvis en vannes med litt større vannmengder enn matjordlaget kan lagre, kan en få et stort vanntap til drencsystemet, stort utvaskingstap av mobile næringsstoffer og forurensing av vassdragene. Det samme skjer ved nedbør like etter vanning, og det har lettere for å inntreffe nær vannsprederen enn lengre unna.

Dyp jordblanding er et aktuelt tiltak for å bedre rotutvikling og vannlagring på den lagdelte sandjorden. Da må jordblandingen enten ikke gå dypere enn til passe fortykning av moldinnholdet i ploglaget (ikke under 2% organisk materiale) eller så dypt at en kan blande med silt eller leire fra dypere lag.

De siltrike jordene har stort sett nok vann, men hovedproblemet er at de tørker opp så sent om våren. Det er grunn til å tro at vårpløying eller djup harving tidlig på våren kan gi raskere opptørking og dermed tidligere såing.

### Litteratur

Njøs, A. og Sveistrup, T.E. 1977. Klassifisering av kornstørrelse og kornstørrelsegrupper (jordarter) for mineraljord. (Under trykking i Jord og Myr.)

Prestvik, O. Undersøkelser av klima og jordsmonn i Nittedal. Lisensiatevhandling NLM 1975.

Fig. 1. VOLUMDIAGRAMMER for LEIRJORD

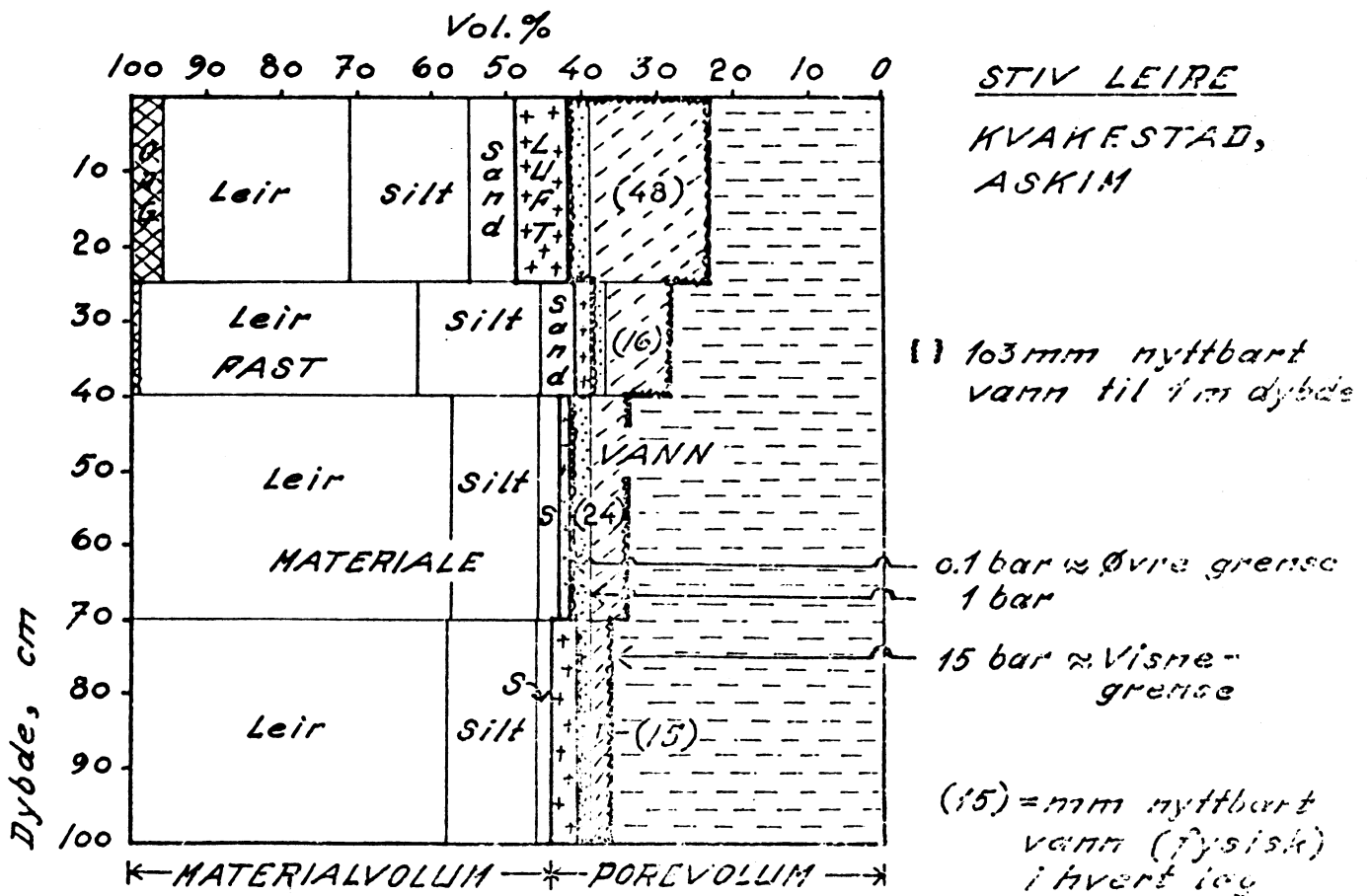
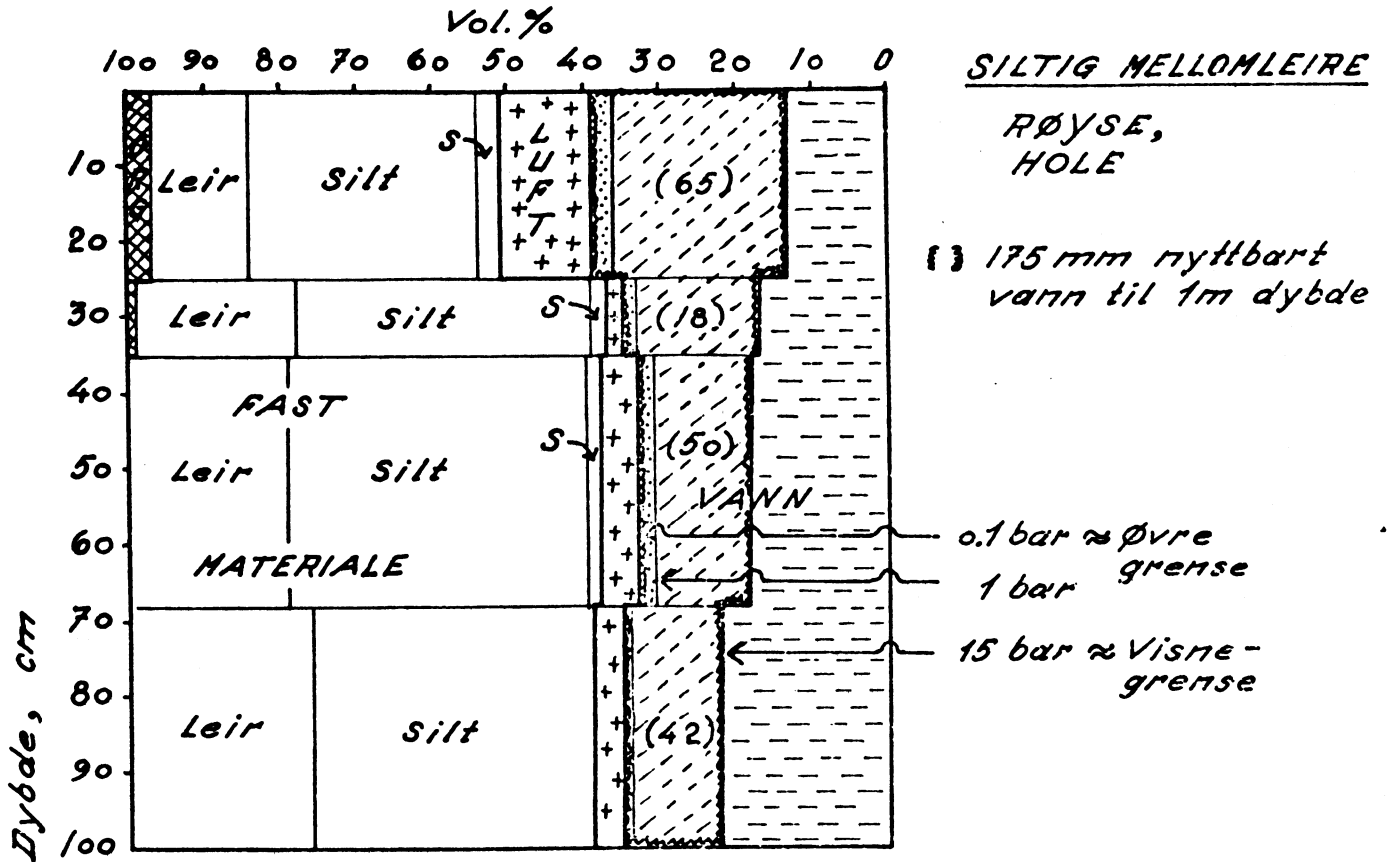


Fig. 2. VOLUMDIAGRAMMER for SAND over LEIRE

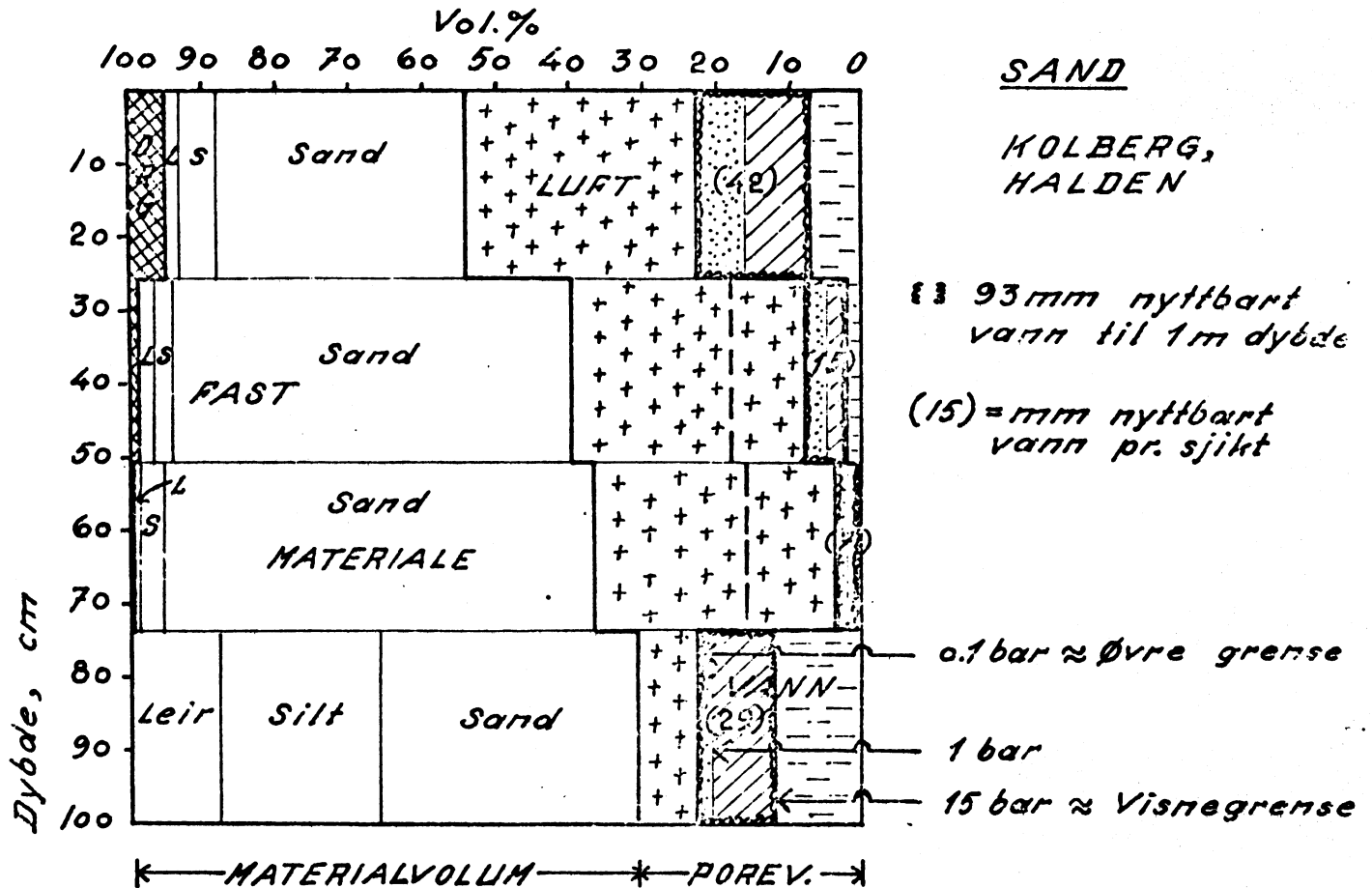
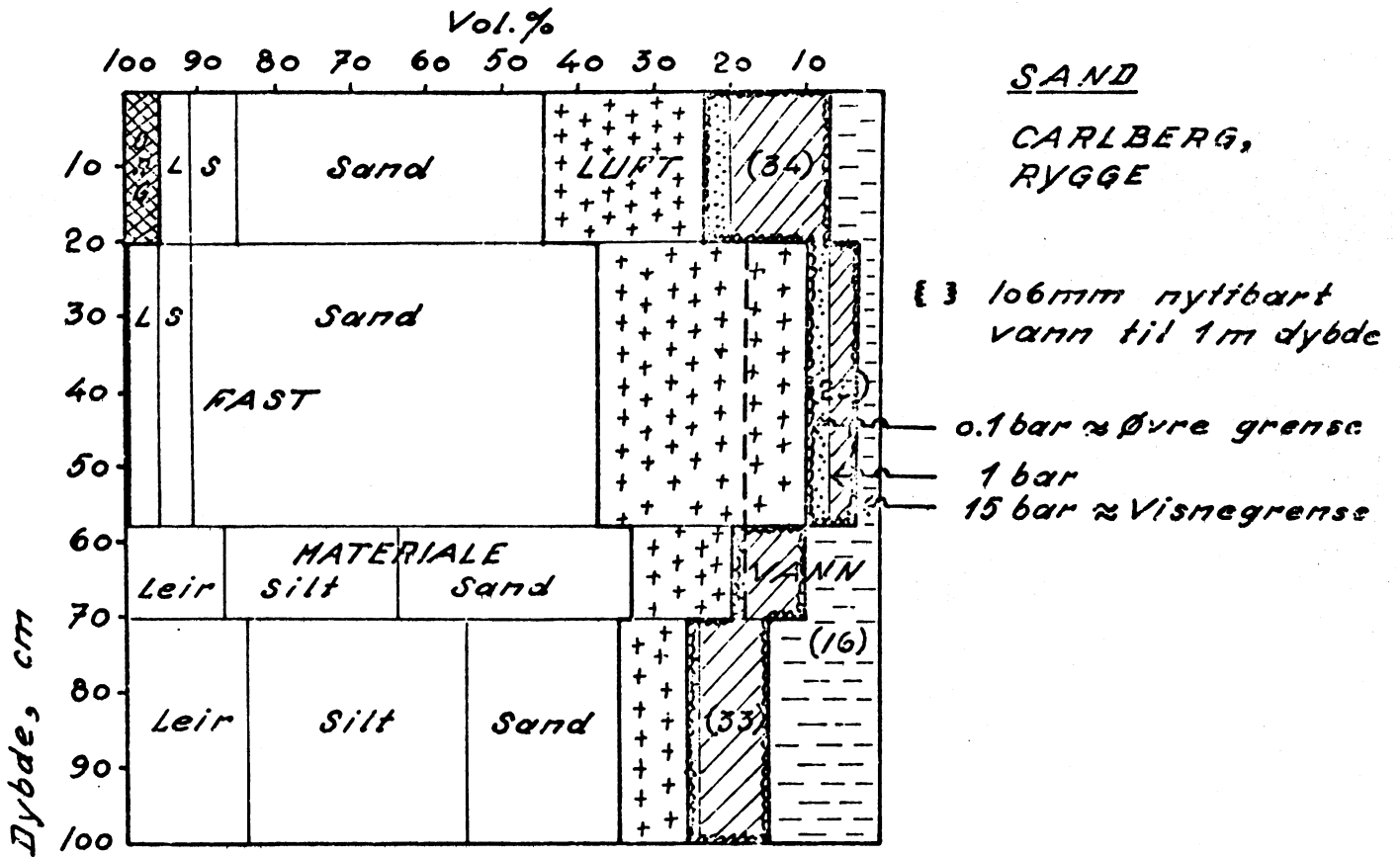


Fig.3. VOLUMDIAGRAMMER for LAGDELT JORD på ROMERIKE

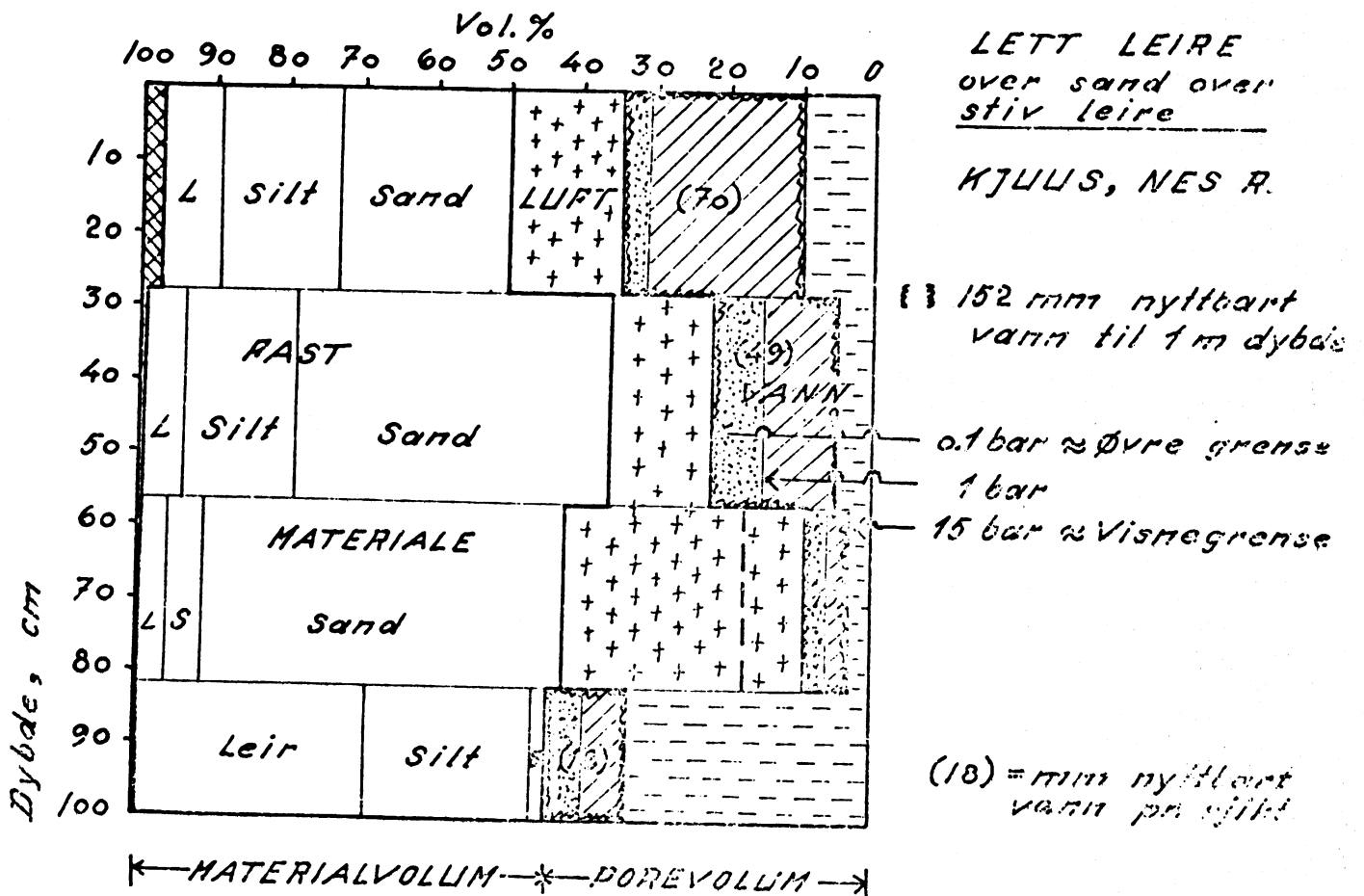
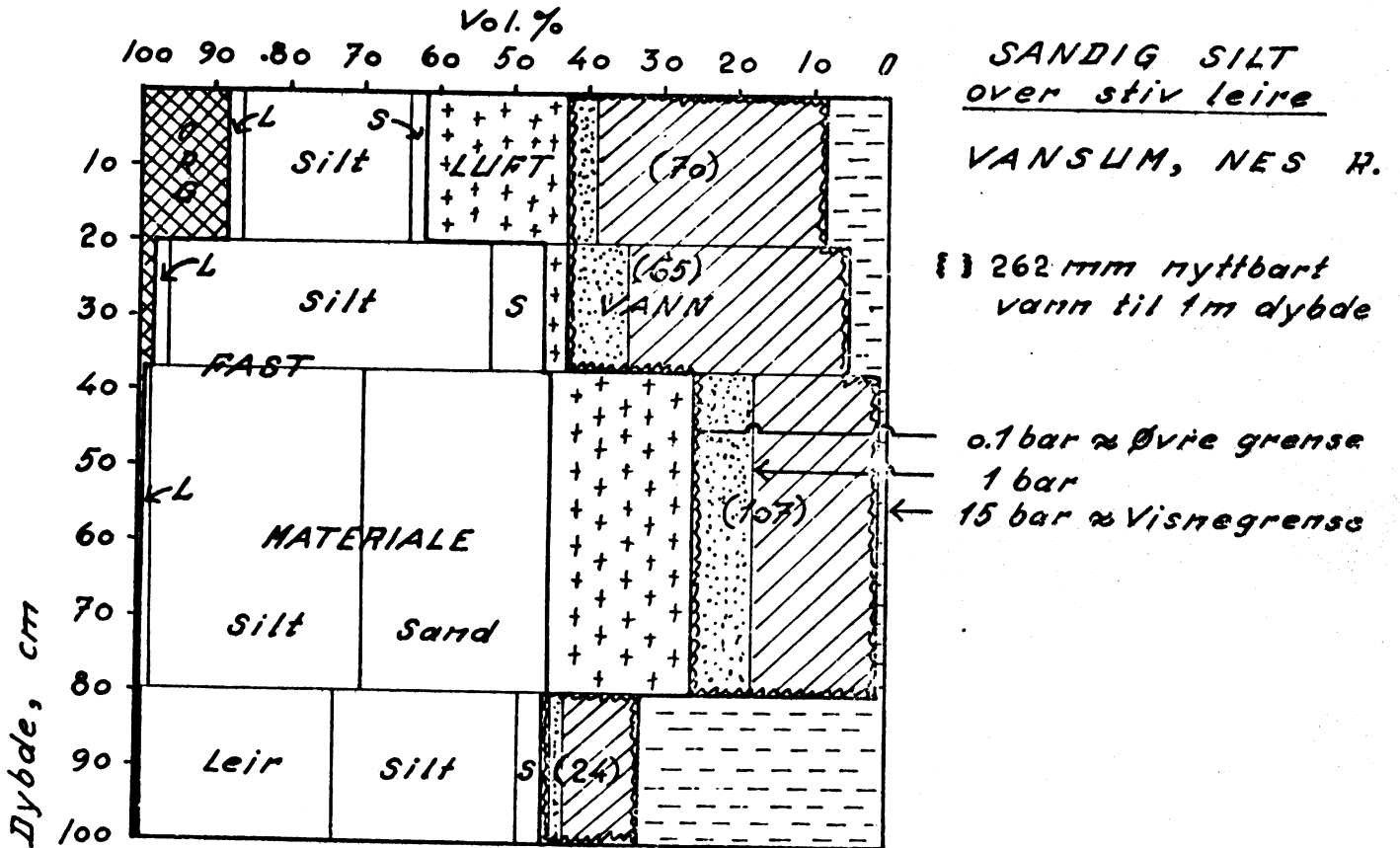




FIG. 4. VOLUMDIAGRAM FOR STIV LEIRE

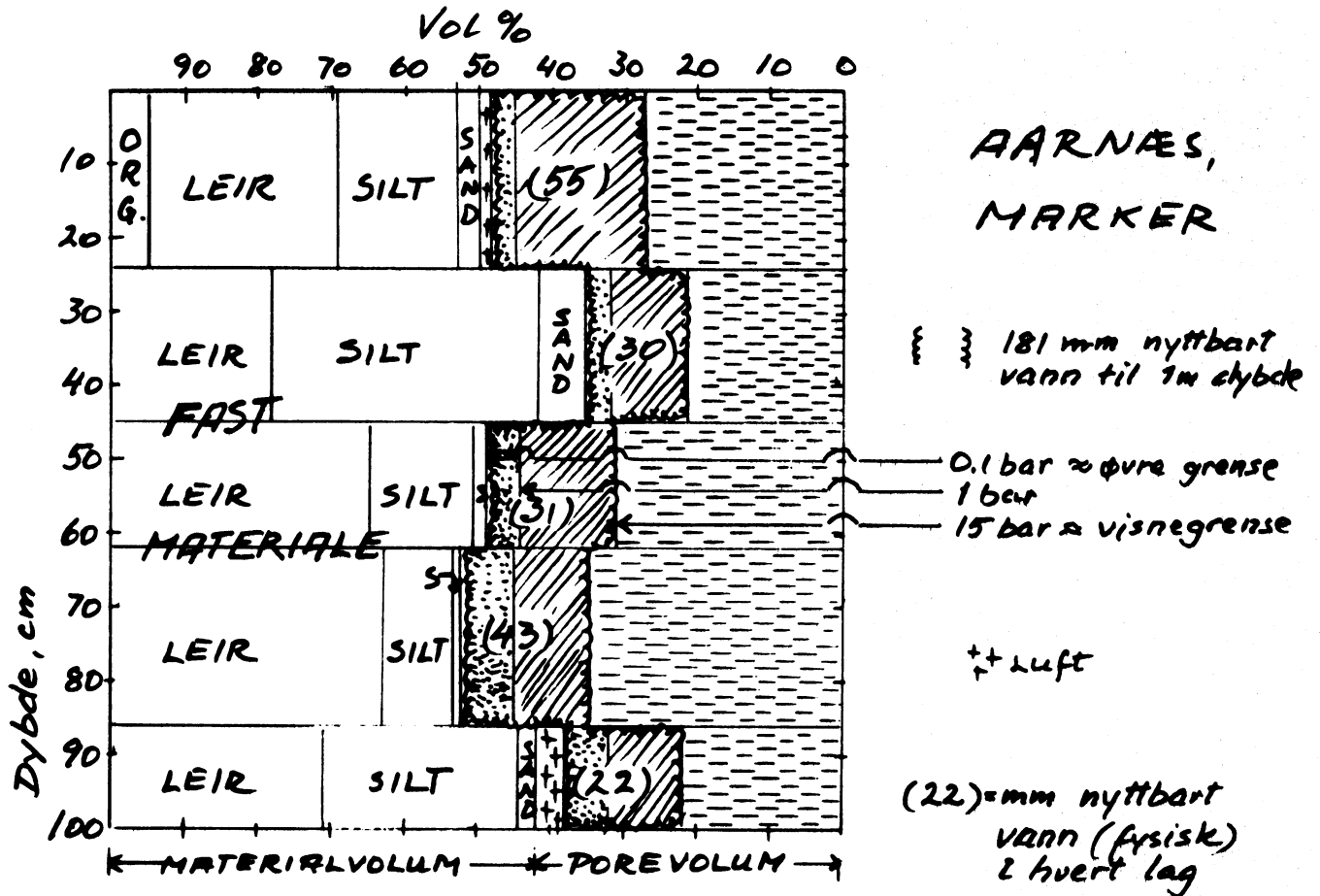
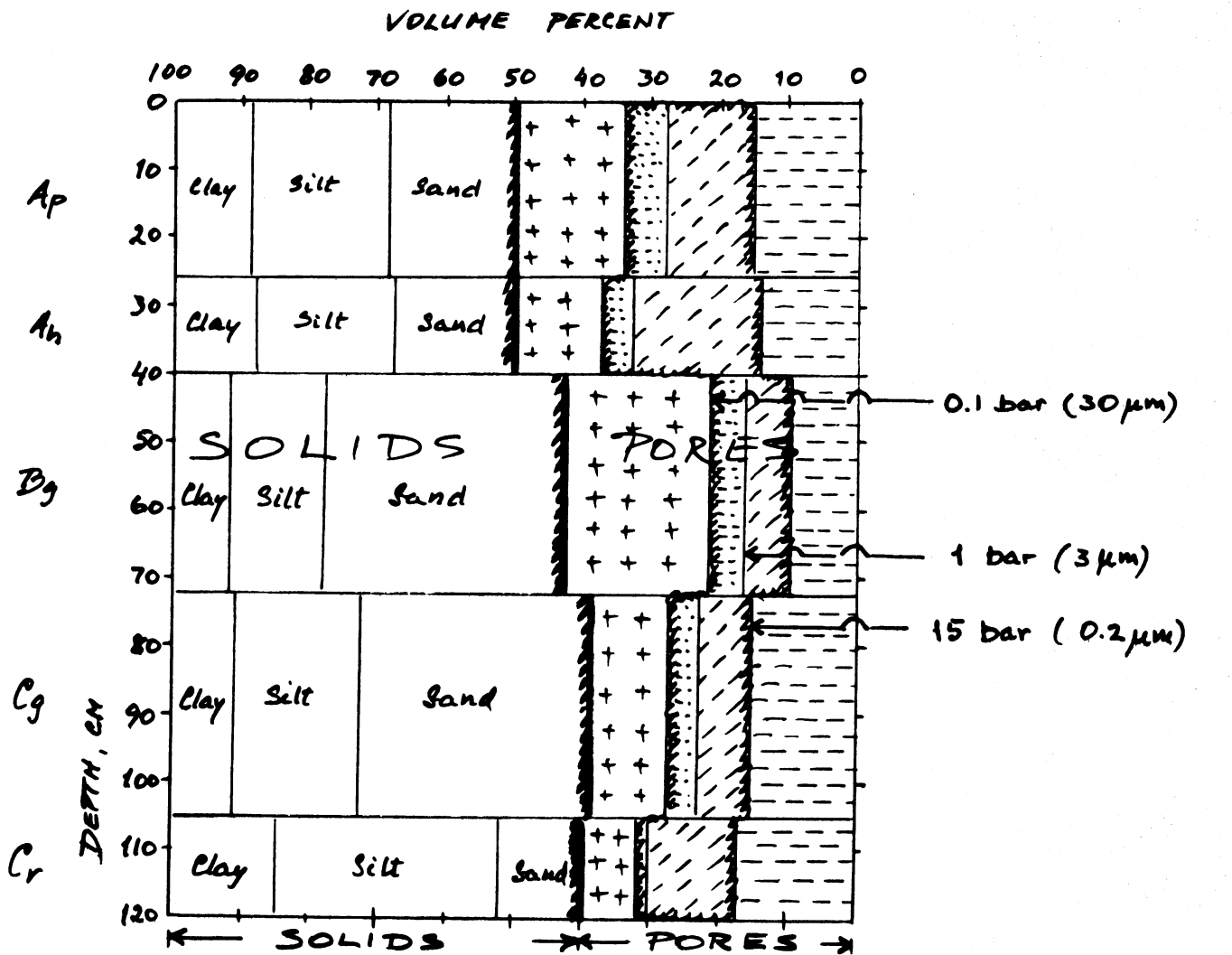


FIG. 5

PORES AND SOLIDS IN A LOAM SOIL AT ÅS,  
NORWAY.



PORES DRAINABLE AT 0.1 BAR SUCTION



PORES WITH WATER EXTRACTABLE BETWEEN 0.1 AND 1 BAR



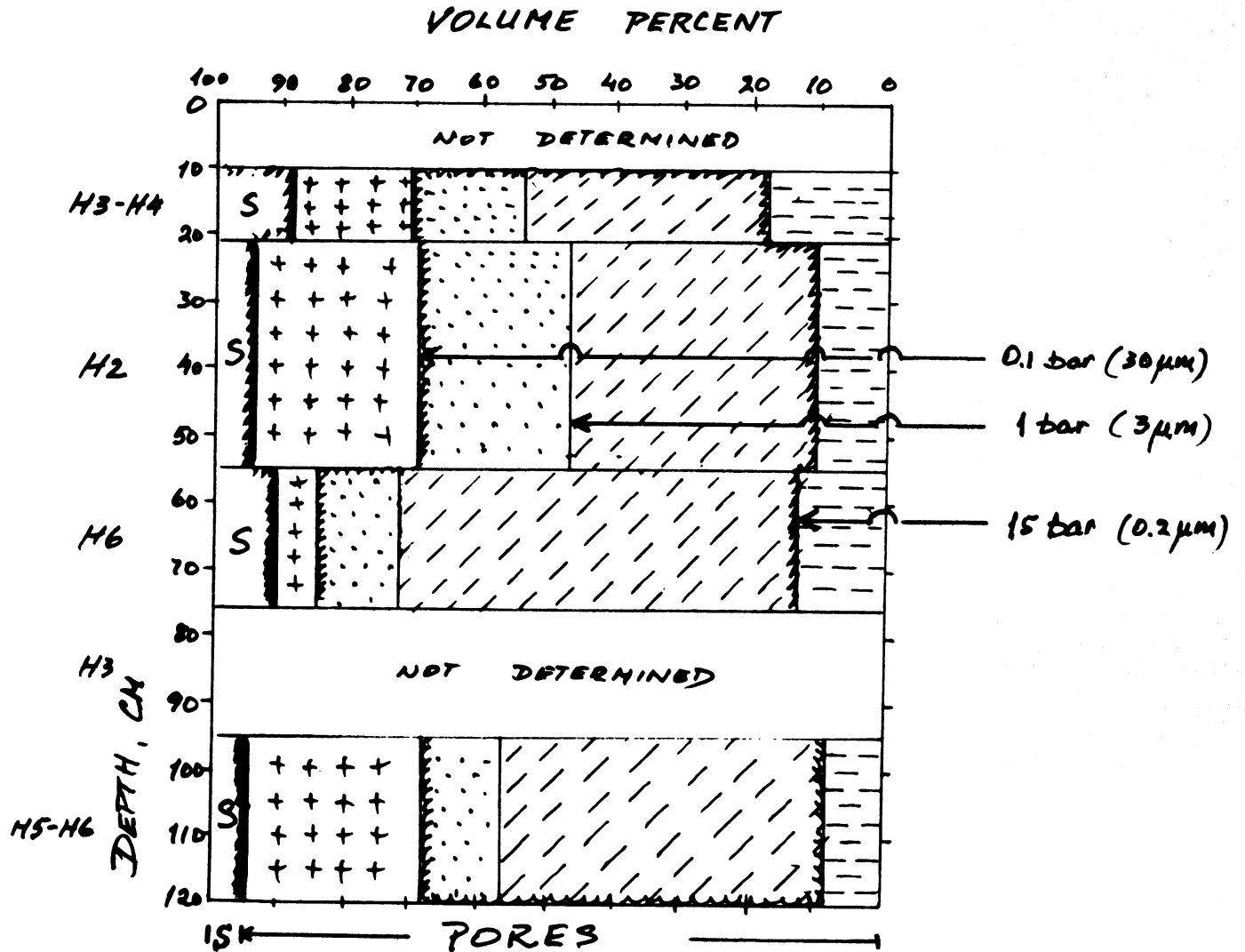
PORES WITH WATER EXTRACTABLE BETWEEN 1 AND 15 BARS



PORES WITH WATER NOT EXTRACTABLE AT 15 BARS

Fig. 6

PORES AND SOLIDS IN A PEAT SOIL AT ÅS,  
NORWAY



S SOLIDS, MAINLY ORGANIC MATERIALS



PORES DRAINABLE AT 0.1 BAR SUCTION



PORES WITH WATER EXTRACTABLE FROM  $0.1 \frac{\text{bar}}{1 \text{ BAR}}$



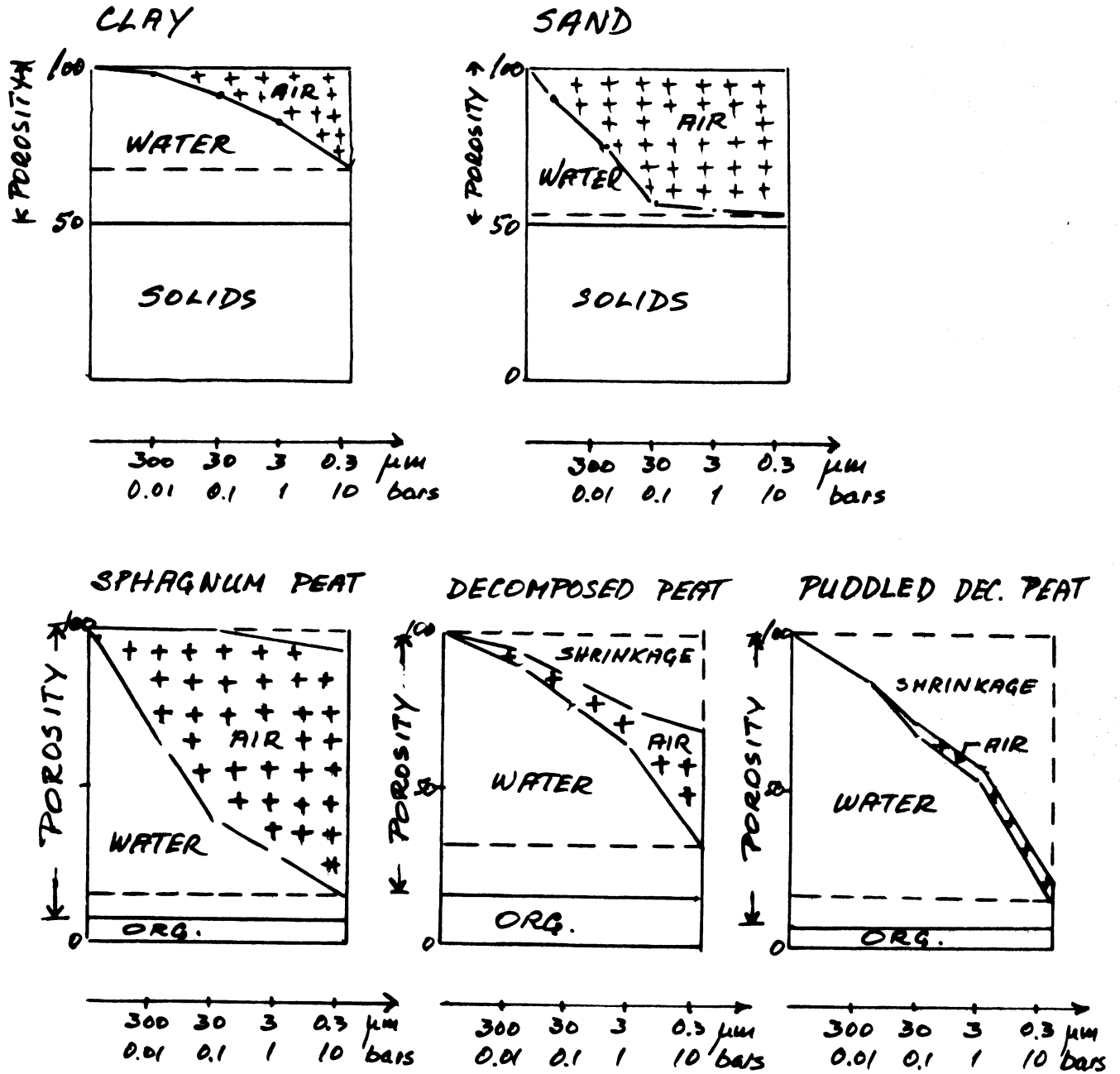
PORES WITH WATER EXTRACTABLE FROM  $1 \frac{\text{bar}}{15 \text{ BARS}}$



PORES WITH WATER NOT EXTRACTABLE AT 15 BARS

FIG. 7

THE POROSITY AND PORE SYSTEM OF FIVE SOILS



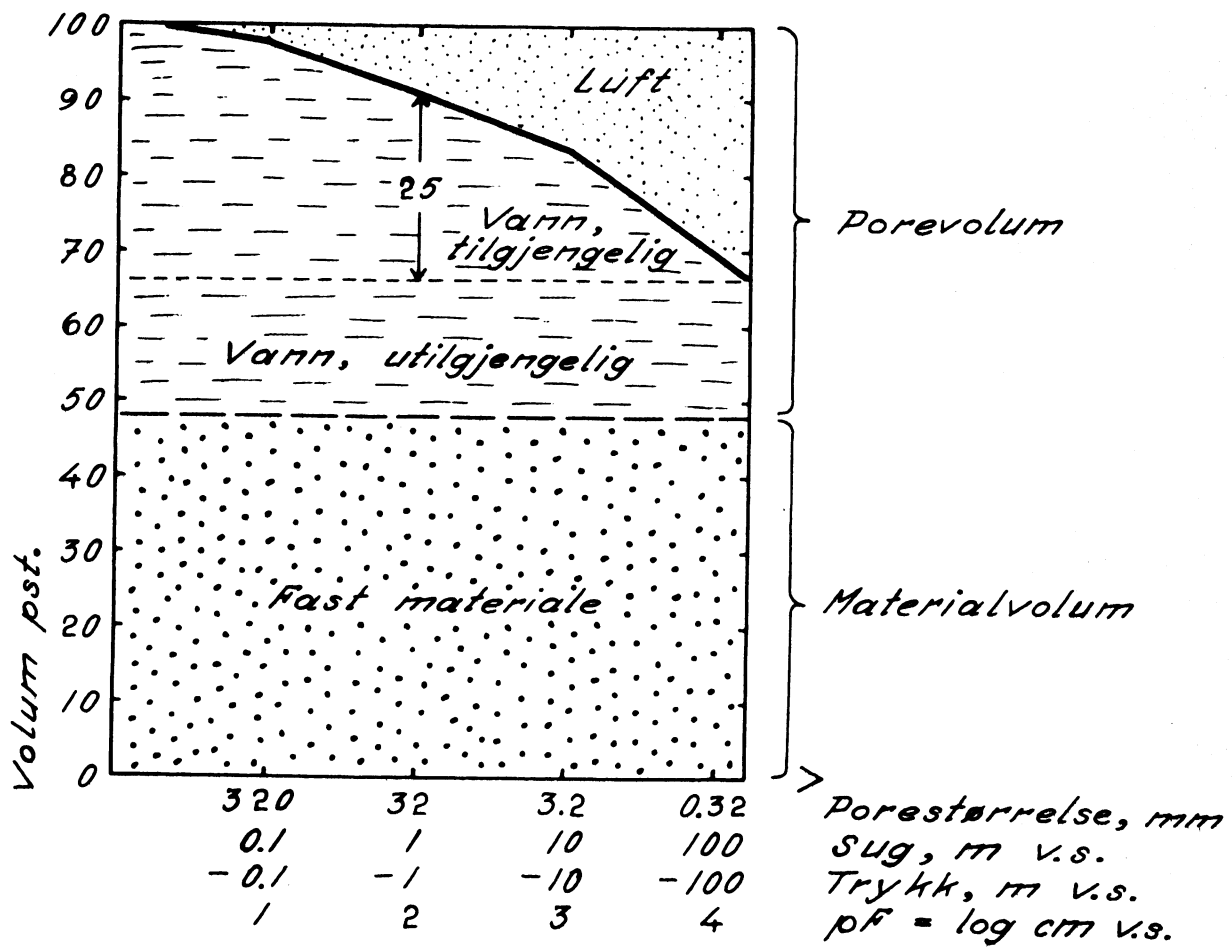


Fig. 8. Uttøringskurve for leire fra Ås.

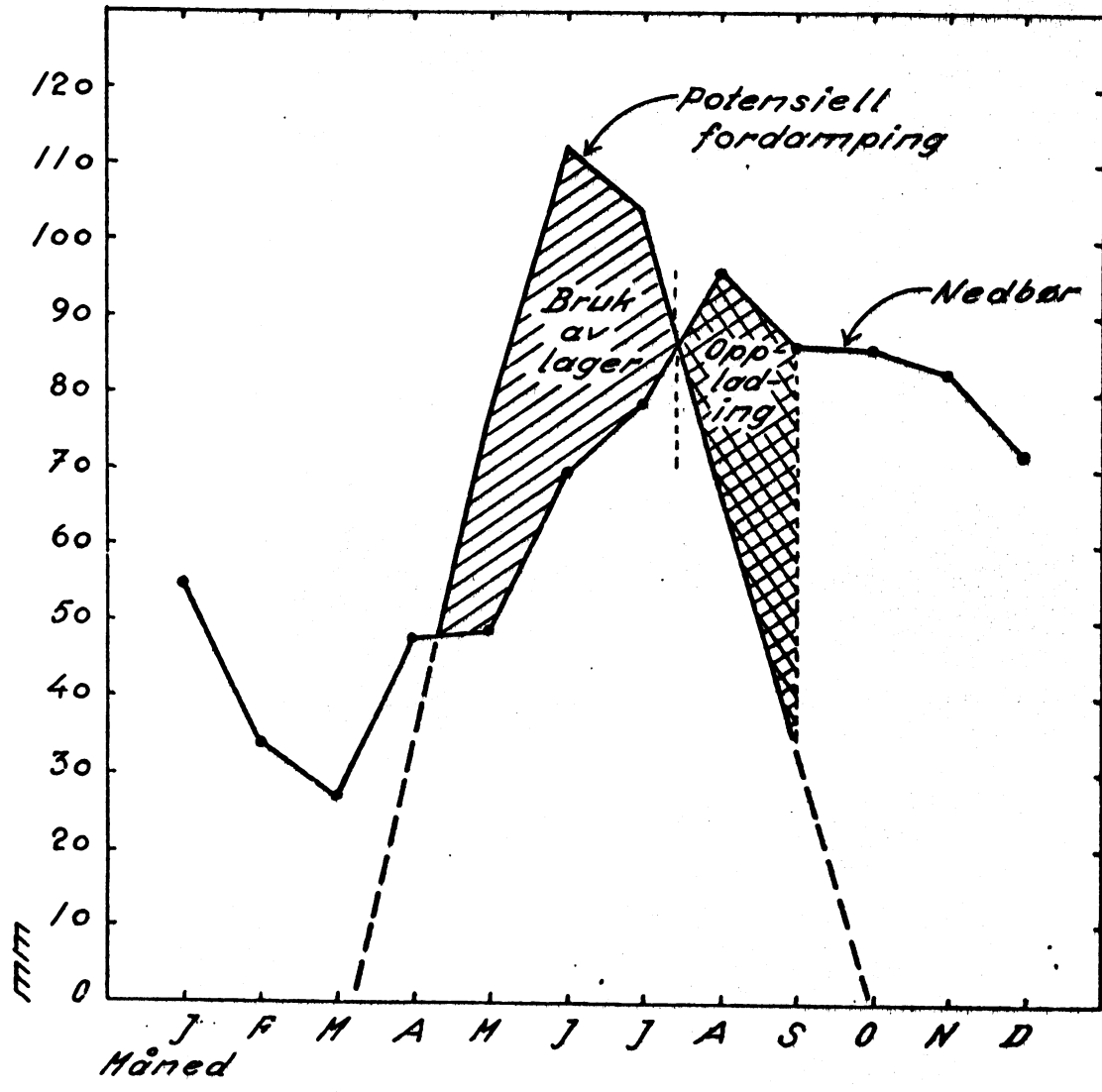
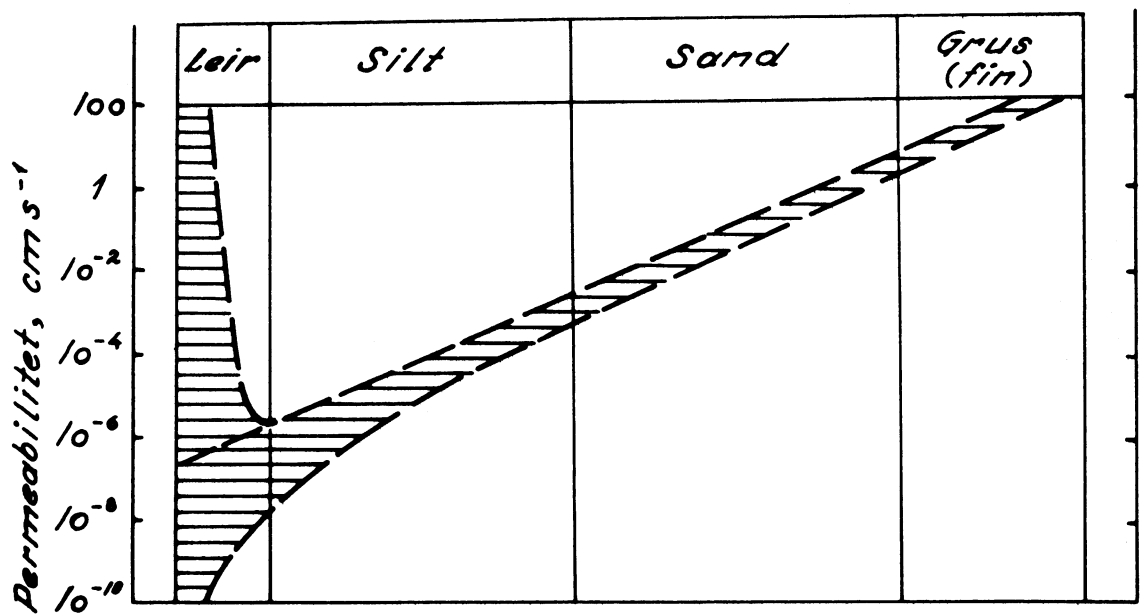


Fig. 9 Nedbør og potensiell fordamping i Ås.

Fig. 10. VANNLEDNINGSEVNE OG JORDART



(Vesentlig c. JANBU)

## STRÖMNING AV VANN

### 12. JORDENS LEDNINGSFÖRMÅGA FÖR VATTEN (PERMEABILITET, GENOMSLÄPPLIGHET)

S. Odén & A. Njós

#### GRUNDLÄGGANDE BEGREPP

Vattnets strömningsmöjligheter i marken är av betydelse för infiltrationen, för vattnets rörelse till rot- och dränerings-systemet, för grundvattenbildningen och för evaporationen från markytan. I det följande kommer vi att använda begreppet jordens ledningsförmåga för vatten för att markera sambandet med t.ex. elektrisk ledningsförmåga, värmeledningsförmåga etc.

Vattnet rör sig givetvis i porsystemet och därför är por-systemets utformning (storleksfördelning och kontinuitet) bestämmande för rörelsehastigheten. Om man kunde bestämma både porstorleksfördelningen och porernas kontinuitet med tillräcklig noggrannhet, skulle det vara möjligt att beräkna jordens ledningsförmåga för vatten. Så är nu inte fallet, varför denna karaktäristiska markvattenkonstant måste bestämmas experimentellt.

Jordens ledningsförmåga för vatten är maximal då porsystemet är helt vattenmättat. Den karaktäristiska konstanten benämnes då permeabilitets- eller genomsläpplighetskonstanten. Då porsystemet innehåller luft sjunker ledningsförmågan för vatten och man talar då om den kapillära ledningsförmågan. Denna är en funktion av vattenhalten och således ingen markvattenkonstant (se avsnitt 27).

Vattnets rörelse påverkas av olika krafter bland vilka kan nämnas tryckkrafter, tyngdkraften, adsorptionskrafter och osmotiska krafter. Dessutom kan termiska och elektriska förhållanden påverka vattnets rörelse. Endast om trycket eller vattnets energinivå (potential) är olika mellan två punkter i marken sker en vattenrörelse; en tryck- eller energigradient föreligger. Är gradienten 0 sker ingen rörelse.



Sambandet mellan gradient och strömningshastighet anges i Darcys lag (1856), vilken kan formuleras på följande sätt: För en given vätska vid en given temperatur är medelhastigheten av vätskans strömning genom ett poröst material (marken) proportionell mot den rådande tryckgradienten i strömriktningen.

Darcys strömningslag kan skrivas:

$$v = Ki \quad (1)$$

$v$  = den vattenvolym, som passerar ytenheten per tidsenhet ( $LT^{-1}$ )

$K$  = genomsläpplighetskonstanten ( $LT^{-1}$ )

$i$  = den drivande kraften eller tryckgradienten ( $L^1L^{-1}$ )

Den drivande kraften kan uttryckas enl. följande:

$$i = \frac{\Delta H}{L} \quad (2)$$

$H$  = Hydrauliska höjden (efter eng. hydraulic head). Den är lika med vattenytans höjd över en referensnivå, (L)

$L$  = Längden av transportvägen (L)

Enligt (1) och (2), med beaktande av definitionen på  $v$ , kan Darcys lag skrivas:

$$\frac{Q}{At} = K \frac{\Delta H}{L} \quad (3)$$

$Q$  = genomströmmad volym ( $L^3$ )

$A$  = genomströmmad yta ( $L^2$ )

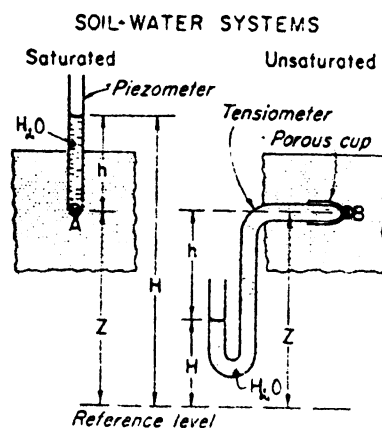
$t$  = tid (T)

Enl. figur 1 är:

$$H = h + z = \text{hydraulisk höjd (L)} \quad (4)$$

$$h = \text{tryckhöjd (L)}$$

$$z = \text{lägeshöjd (L)}$$



I figur 1 är jorden mättad med vatten vid A och omättad vid B. I mättat tillstånd mätes den hydrauliska höjden med en s.k. piezometer, i omättat tillstånd med en s.k. tensiometer. Vid A är tryckhöjden positiv, vid B (omättat) är den negativ, vilket ju lätt inses om man låter referensnivån sammanfalla med mätnivån ( $\otimes$ ). I båda fallen gäller att summan av tryckhöjden och lägeshöjden är lika med den hydrauliska höjden.

Ledningsförmågan för vatten är inte enbart en funktion av det porösa materialet, utan också av vattnets viskositet och tyngd. Ledningsförmågan för vatten kommer att minska med sjunkande temperatur emedan vattnets viskositet stiger med sjunkande temperatur (ca 3 % per grad). Dessutom påverkas vattnets täthet av temperaturen men i långt mindre grad än viskositeten. Strömningshastigheten på månen under i övrigt lika betingelser blir endast 1/6 av den på jorden till följd av olika tyngdacceleration.

Genomsläpplighetskonstanten är inte obetingat konstant då t.ex. ändringar i det porösa mediets struktur ändrar jordens ledningsförmåga för vatten. Olika jonsammansättning eller jonkoncentration i den strömmande vätskan (vattnet) kan även förorsaka ändringar i ledningsförmågan. Urlakning av vatten vid genomströmning med aq.dest. medför i många fall en minskning av ledningsförmågan, p.g.a. kolloidernas svällning eller dispergering. Vid laboratoriebestämningar bör man därför helst använda vatten med likartade kemiska egenskaper som markvattnet. Eftersom man oftast inte känner till markvattnets kemiska egenskaper använder man vanligt vattenledningsvatten

Darcys lag har sin motsvarighet i värmeläran och elektricitetsläran nämligen

för värme (Fouriers lag)  $q = \lambda \text{ grad } T$

för ström (Ohms lag)  $I = \frac{1}{R} \text{ grad } V$

där  $q$  = värmefflöde

$\lambda$  = värmeledningsförmåga

grad  $T$  = temperaturgradient

$I$  = strömflöde

$\frac{1}{R}$  = elektrisk ledningsförmåga

grad  $V$  = spänningsgradient

För att lösa komplicerade strömningsförhållanden för större markavsnitt (t.ex. vägbyggnader, dammar, tunnelbyggen) använder man sig därför ofta av elektriska modeller. Man kan därvid få en bild av både potentialfältet och strömfältet genom lämplig koppling av elektroderna.

### Markens vertikala ledningsförmåga

Jorden är i de flesta fall horisontellt skiktad dels av geologiska skäl, dels som en följd av jordmånsbildningen men även betingat av brukningstekniska åtgärder, t.ex. plogsulan. Marken består således av en serie seriekopplade motståndselement för den vertikala vattenrörelsen.

$$R_v = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Med beaktande av att det specifika motståndet, dvs motståndet per längdenhet är omvänt proportionellt mot ledningsförmågan eller formelmässigt

$$\frac{R_v}{L} = \frac{1}{K_v} \quad \text{och} \quad \frac{R_1}{L_1} = \frac{1}{K_1}, \quad \frac{R_2}{L_2} = \frac{1}{K_2} \dots$$

kan vi omedelbart formulera profilens genomsnittliga ledningsförmåga för vatten (Insätt  $R_v$  och  $R_1 \dots R_n$  i relationen ovan)

$$\frac{1}{K_v} = \frac{1}{L} \sum \frac{L_i}{K_i} \quad (5)$$

Består marken av liktjocka horisonter förenklas uttrycket ovan till

$$\frac{1}{K_v} = \frac{1}{L} \sum \frac{\bar{L}}{K_i} = \frac{1}{n} \sum \frac{1}{K_i} \quad (6)$$

eftersom  $L/\bar{L} =$  antalet horisonter ( $n$ ). Profilens ledningsförmåga är således det harmoniska medelvärde av de ingående delvärdena. Om man har  $K$ -värden från olik tjocka horisonter får man summera stegvis.

### Markens horisontella ledningsförmåga

I en vertikalt skiktad mark rör sig vattnet ofta i huvudsak horisontellt under inflytande av marklutning eller ogenomsläppliga lager. Den övervägande rörelseriktningen för grundvattnet är även horisontell.

Känner man de enskilda horisonternas genomsläpplighetskonstant ( $K_i$ ) och tjocklek ( $L_i$ ), utnyttjar vi följande samband, i det att vi utgår från att gradienten är lika i alla horisonter (se även ekv. 3):

$$Q_h = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \Sigma Q_i$$

$$\frac{Q_i}{A_i t} = K_i \frac{\Delta H}{x} \text{ d.v.s. } Q_i = K_i \frac{\Delta H}{x} A_i t$$

$$A_i = L_i y = \text{areal av genomströmmad yta (L}^2\text{)}$$

$y$  = bredd av genomströmmad horisont (L)

$x$  = längd " " " (L)

Vid insättning får man

$$K_h \frac{\Delta H}{x} L y t = \Sigma K_i \frac{\Delta H}{x} L_i y t$$

som ger:

$$K_h = \frac{1}{L} \Sigma L_i K_i \quad (7)$$

eller för horisonter med lika tjocklek: (8)

$$K_h = \frac{1}{n} \Sigma K_i$$

Den horisontella ledningsförmågan är således lika med det aritmetiska medelvärdet av de ingående delvärdena.

Det kan nämnas att det i marken är mycket stor variation i ledningsförmågan för vatten och denna variation är långt större än t.ex. porvolymens variationer. Vanligen har de olika markdjupen olika ledningsförmåga. Ytskiktet får starkt varierande värden som följd av ytans beskaffenhet, t.ex. som följd av bearbetning, sammanpackning, skorpbildning, svällning eller krympning. Plogsulan har oftast lägre  $K$ -värden än omgivande skikt och för den djupare alven sjunker också  $K$ -värdena. Ledningsförmågan i en markprofil påverkas dessutom kraftigt av jordmånsbildningen. Det ursprungliga såpleret har exempelvis ett  $K$ -värde = 0 medan jordmånsens ledningsförmåga kan uppgå till 100 cm/tim eller mer. Enstaka  $K$ -bestämningar medelst utstansade provcylindrar ger emellertid ett mycket osäkert värde på en horisonts genomsnittliga ledningsförmåga. Ytterlighetsvärdena kan nämligen variera från 1 till 100.000 medan värdena från större ytor varierar från 1 till 10 för samma horisont.

## METODER

Man kan skilja på fältmetoder och laboriemetoder. Här beskrivs endast laboriemetoderna.

Direkta metoder

De direkta metoderna är utformade för en direkt mätning av ledningsförmågan för vatten (K-värdet) antingen på omrörda prover eller på ostörda prover uttagna i fält med cylindrar. Laboriemetoderna kan utföras antingen med konstant gradient eller med fallande gradient. I fig. 2 och 3 är de båda metoderna åskådliggjorda med hjälp av en principskiss.

Fig. 2

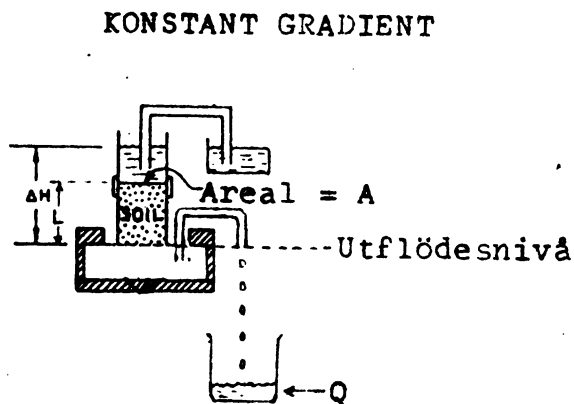
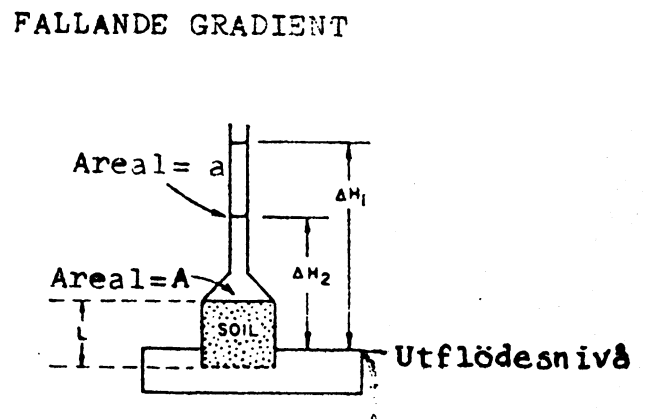


Fig. 3



Beräkningen av K-värdet med utgångspunkt från metoden med konstant gradient baseras direkt på Darcys lag (ekv. 3)

$$\frac{Q}{At} = K \frac{\Delta H}{L} \quad (3)$$

För beräkning av K-värdet enligt metoden med fallande gradient utgår vi dels från Darcys lag, dels definitionen på hastighet

$$\begin{cases} v = K \frac{\Delta H}{L} \\ v = \frac{d(\Delta H)}{dt} \end{cases}$$

och får att

$$\frac{d(\Delta H)}{\Delta H} = \frac{K}{L} dt$$

eller integrerat mellan gränserna  $H_1$  och  $H_2$ , att

$$K = \frac{L}{t} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (9)$$

Man bestämmer således  $H$  som funktion av tiden och beräknar  $K$ . Om de två ytorna inte är lika, måste detta korrigeras vid beräkningen. Detta sker enl. följande

$$K = \frac{a}{A} \frac{L}{t} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (10)$$

där  $a$  är vattenytans area och  $A$  provets area.

### Indirekta metoder

De indirekta metoderna går ut på att i stället för en direkt mätning av ledningsförmågan för vatten, utnyttja en för jorden karaktäristisk parameter med vars hjälp  $K$ -värdet kan beräknas. Man kan t.ex. använda partikeldiametern. Beskow har visat att  $K$ -värdet för rena sandfraktioner som funktioner av partikeldiametern ( $D$  uttryckt i mm) kan skrivas:

$$K = c \cdot D^2$$

där  $c$  antar värdet 2000 för rena fraktioner men är betydligt lägre för osorterat material. Grovmofractionen 0,2 mm har således en genomsläpplighet på 80 cm/t.

### Utförande

Som tidigare nämnts kan man utföra  $K$ -värdesbestämningar på antingen störda prover eller ostörda prover. Här följer nu en beskrivning av hur man t.ex. enkelt kan utföra sådana bestämningar.

#### I. Bestämning av ledningsförmågan ( $K$ -värdet) på stört prov.

Till försöket används ett perkolationsrör med en inre diameter av minst 1 cm enl. förfarandet med variabel tryckhöjd. (Se fig. 3). Bottenutloppet, som bör vara c:a 5 mm i diameter samt kort för att ej verka sugande, skyddas av filterpapper så att materialförluster förhindras. Lufttörr finjord ifylles til. 1 - 4 cm höjd beroende på jordens styvleksgrad. Jorden packas på samma sätt som vid volymviktsbestämningen medelst mätglas. Bottenutloppet bör därvid skyddas, varför det är lämpligt att använda en stor kork försedd

med hål. Jordskiktets tjocklek  $L$  uppmätes i cm. Största svårigheterna vid genomsläpplighetsmätningar av detta slag ligger i att få ett lämpligt underlag för jorden, som ej täppes till och att få en representativ och reproducerbar packning.

Röret sänks ned i en bägare med vatten, först  $1/2$  timme till djupet  $1/2 L$  och sedan 1 timme till djupet  $L$ . Genom denna vattenmätning underifrån utträngs luften ganska bra, och porerna fylls med vatten. Röret fylls sedan med vatten ur sprutflaska, varvid röret lutats, så att jorden inte slammas upp av det nedrinnande vattnet. När röret är tillräckligt vattenfyllt fastsättes det i vertikalt läge och observationerna kan börja, varvid  $H_1$  uppmätes vid  $t = 0$ . Därefter uppmätes  $H_2$  efter lämpliga tidsintervall.

Enl. ekv. 9 beräknas permeabilitetskoefficienten för olika värden för  $t$  (tidsintervallet). Därvid används inte alltid  $t_0$ , då felen ofta är störst vid försökets början.

## II. Bestämning av ledningsförmågan (K-värdet) på ostört prov.

För att göra en enkel ledningsbestämning av  $K$ -värdet på ett ostört prov kan man t.ex. använda ett cylinderprov likt det som används för  $pF$ -bestämningar. Först vattenmättas cylindern på samma sätt som när man gör bestämning av max. vattenkapaciteten (sid 10:7). Därefter påsättes ett plexiglasrör med gummiligatur (visas på laboratoriet). Man har på så sätt erhållit en mycket enkel permeameter. Permeameteren fylles försiktigt med vatten så att uppslamning av jord undviks. Propparna med plexiglasrören är placerade på ett relativt grovmaskigt nät. Sedan göres avläsningar av  $H$  vid bestämda tider eller också bestämmas den tid det tar för vattenytan i röret att sjunka 1 cm (exempelvis från 11 - 10 cm).

Beräkningar av  $K$ -värdet görs som under I. Man kan också hålla plexiglasröret fyllt hela tiden och mäta vattenåtgången efter viss tid. För beräkningarna tillämpas då Darcys lag direkt, eftersom gradienten är konstant.

### Uppgift

1. Bestäm  $K$ -värdet på finjorden enligt I. Gör upp en kurva där  $H$  är ordinata och  $t$  abscissa. Beräkna  $K$ -värdet för några olika värden på  $t$ . Använd därvid inte alltid  $t_1 = 0$ , då felen ofta är störst vid försökets början. Rita upp ett diagram som visar  $K$ -värdets

variation med tiden. Varför erhålles ej ett konstant K-värde?

2. Bestäm K-värdet enligt II för ett cylinderprov som är taget i fält vid kursens början.

3. Beräkna  $K_v$  och  $K_h$  på data från profilerna under antagande att de olika horisonernas K-värden gäller i båda riktningarna.

4. Vilken jordart motsvarar ert K-värde enl. 2. Se tabellen på sid. 12:10.

#### LITTERATURHÄNVISNINGAR

Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. Methods of Soil Analyses. Part 1. No. 9. Agronomy. Amer. Soc. of Agron., Inc., Publisher Madison, Wisc., U S A 1965, sid. 210 - 221.

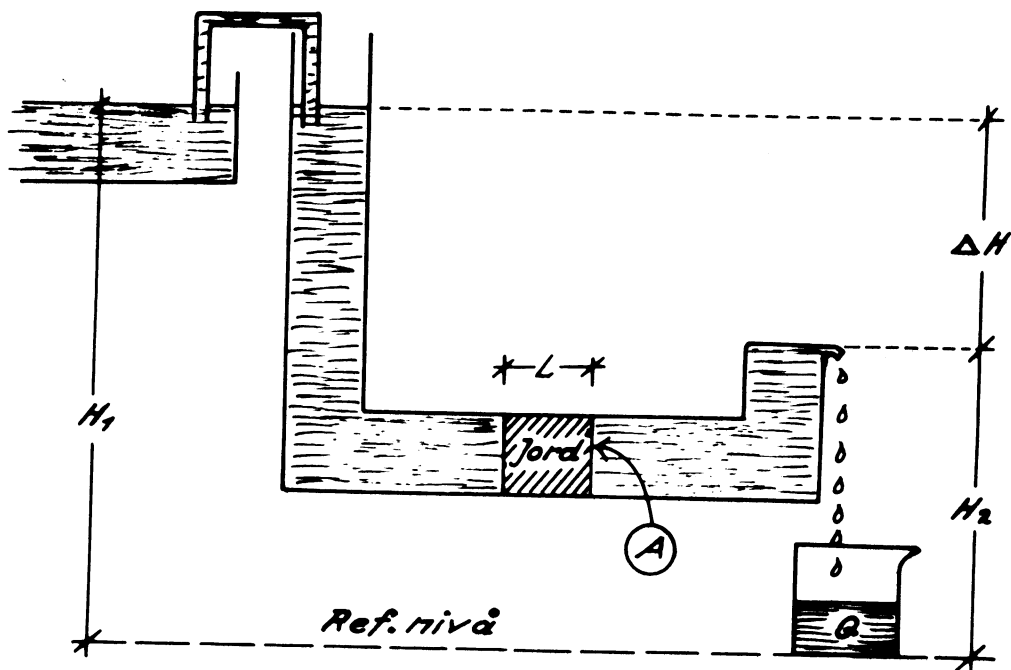
Beskow, G. 1935. Tjälbildningen och tjällyftningen med särskild hänsyn till vägar och järnvägar. S.G.U. Ser. C. N:o 375, sid 148.



Genomsläpplighet (vid 20° C.) samt kapillaritet för olika grova fraktioner och jordarter (välsorterade sediment). Obs.: Vid temperaturområdet omkring 0° C. äro genomsläpplighetsvärdena endast ca 60% av de här angivna!

Rena fraktioner			Naturliga sediment				Hygro- skopici- tet $W_h$
Korngrupps- beteckning	Kornstorleks- gränser mm	Kapillaritet $H$	Genomsläpplighet $K$ cm/tim. (vid + 20° C.)	Jordartsnamn	Kornstorleks- tyngdpunkt mellan mm	Kapillaritet (maximal) $h$	
Grovt grus . . .	20-6	< 1 cm	$640 \cdot 10^3 - 58 \cdot 10^2$	Grovt grus .	20-6	—	—
Fint grus . . .	6-2	1-3 cm	$58 \cdot 10^2 - 6.4 \cdot 10^2$	Fint grus .	6-2	1-5 cm	15,000-1,000
Grovsand . . .	2-0.6	3-10 cm	$6.4 \cdot 10^2 - 0.58 \cdot 10^3$	Grovsand .	2-0.6	4-15 cm	1,500-70
Mellansand . . .	0.6-0.2	10-30 cm	580-64	Mellansand	0.6-0.2	12-50 cm	125-5
Grovmo . . .	0.2-0.06	30-100 cm	64-5.8	Grovmo . . .	0.2-0.06	40-350 cm	10-0.3
Finmo . . .	0.06-0.02	1-3 m	5.8-0.64	Finmo . . .	0.06-0.02	2.5-8 m	1-0.02
Grovmjåla . . .	0.02-0.006	3-10 m	0.64-0.058	Mjålmjord	0.02-ca 0.006	6-ca 12 m	0.1-0.002
Finmjåla . . .	0.006-0.002	10-30 m	$58 \cdot 10^{-2} - 6.4 \cdot 10^{-3}$	Lättlera	—	10-ca 18 m	0.005-0.0005
Grovlera . . .	0.002-0.0002	30-300 m	$6.4 \cdot 10^{-2} - 0.064 \cdot 10^{-2}$	Mellanlera .	—	ca 15 m	0.001-0.00005
Finler . . .	< 0.0002	> 300 m	$[64 \cdot 10^{-6} - 0.64 \cdot 10^{-6}]$	Styv lera Mycket styv lera	—	—	—

<sup>1</sup> Genomsläpplighetssiffrorna endast ungefärliga.



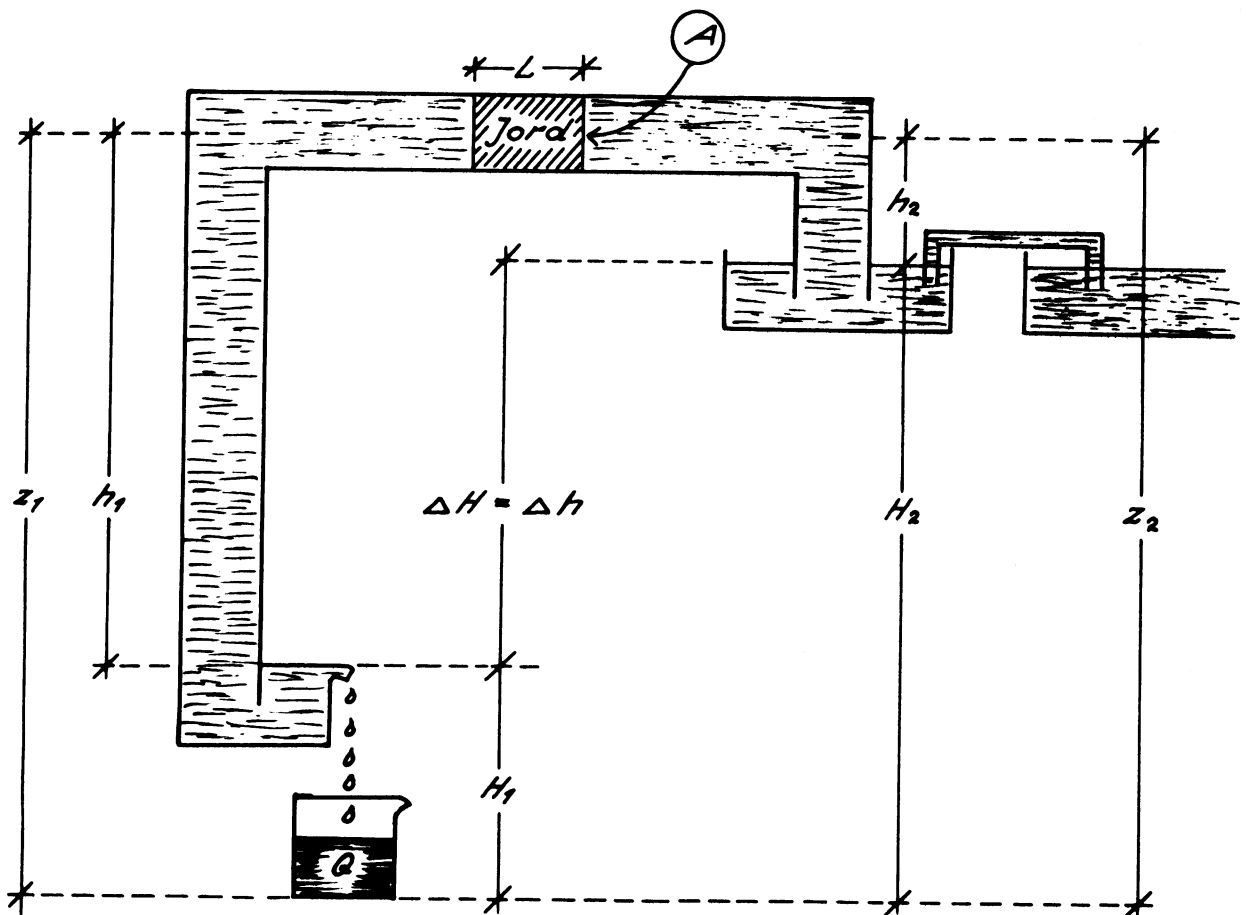
Mettet vannstrømning

Drivende kraft:  $\Delta H/L$

Strømhastighet:  $Q/At = v = K \cdot \Delta H/L$

$t = \text{tid}$

$K = \text{vannledningsevne (mettet)}$



Umettet vannstrømning

Drivende kraft  $\Delta h/L$

Strømhastighet  $Q/At = K(w) \cdot \Delta h/L$

$K(w)$  = vannledningsevne (umettet)

## ENERGIBRUK I FØRPRODUKSJONEN

Av Arnor Njøs

Jordbruk er en type av markbruk som går ut på å øke energi-strømmen gjennom systemet og dermed arealproduktiviteten. Planteproduksjonen går ut på å kapre mest mulig solenergi ved innsats av hjelpeenergi (handelsenergi). Så snart en fører avling bort fra et areal kan det bli behov for erstatning av det som fjernes. For solenergi og CO<sub>2</sub> er erstatnings-spørsmålet ikke noe problem. Innstrålingen er noenlunde konstant fra år til år, og CO<sub>2</sub>-innholdet i atmosfæren er økende. Vann er en viktig produksjonsfaktor, selv om plantene er forholdsvis passive i forbruksprosessen. Plantedekket kan virke som transportvei og fordampingsflate for f eks 300-400 mm pr vekstsesong, eller 300-400 m<sup>3</sup> pr dekar. Det er bare en bitte liten del av dette vannet som er igjen i avlingen, ofte mindre enn 1%. Vannstrømmen gjennom planten og fordampingen gjennom spalteåpningene er en betingelse for at fotosyntesen skal foregå. Derfor er vanntilgangen viktig for avlingen, og én mulig bruk av hjelpeenergi er å tilføre vann til produksjonsarealet for å dekke underskudd i vannbalansen i veksttida. De mineralske næringsstoffene har en spesiell stilling. Den naturlige tilførselen i form av nedbør, tørravsetninger og forvitring kan holde en produksjon igang så lenge plantene bare visner og plantemassen beholdes på arealet fra år til år. Men når produktene fjernes fra arealet, vil tappingen av næringskapital ikke kunne dekkes av naturlige tilførsler. Da kan en, som i flyttjordbruket (shifing cultivation, svedj jordbruk), tilføre næringsstoffer og kalk ved brenning av ved fra et mye større (5-10 ganger større) område enn dyrkingsarealet. I det nordiske utmarksjordbruket ble det høstet før i utmarka og husdyrgjødsel ble brukt i nærheten av tunet - altså tapping av næringskapital fra et annen område for å holde produksjonen ved like. Noe virkelig sirkulasjonsjordbruk har aldri eksistert. Dette er selvsagt enkelt å forutsi ut fra lovene i termofysikken.

I dagens jordbruk blir næringsstoffene stort sett skaffet fra kilder utenom bruket, nitrogen blir tappet fra lufta ved bruk av hjelpeenergi, fosfor og kalium blir skaffet fra fosfat og kalileier fra forskjellige steder i verden, kalk fra innenlandske forekomster, magnesium fra innenlandsk dolomitt osv. Både utvinning, konsentrasjon, emballasje, transport krever hjelpeenergi. Spesielt mye hjelpeenergi går det til å produsere nitrogen, ca 65 MJ (omtrent 1,6 kg olje) til 1 kg N ved Norsk Hydro. Til kalium og fosfor går det henholdsvis 9 og 26 MJ pr kg næringsstoff. Til fosfor i fullgjødning går det med 16 MJ/kg P (NLVF utredning 111, 1980).

En viktig produksjonsfaktor er arbeid som utføres ved t eks oppdyrking, terrengforming, drenering, ugraskamp, tillaging av såbed og høsting. Mens vann og næringsstoffer ikke kan byttes med andre faktorer, kan menneskelig og dyrisk arbeid erstattes av maskinarbeid, plantevernmidler osv. Til en viss grad kan en likevel si at det er en parallell når det gjelder vann og næringsstoffer på den ene siden og arbeid på den andre. Vann kan tilføres som naturlig nedbør eller ved vanning. Næringsstoffer kan tilføres ved forvitring, nedbør, tørravsetninger, som nedbrytingsprodukter av organisk materiale (husdyrgjødsel, kloakkslam, mineralisering av humusstoffer i jord osv.) og som kunstgjødning.

Maskiner og redskaper representerer en kapital som slites. Dette kapitalslitet eller fornyelseskostnaden svarer til den hjelpeenergi som må brukes for å opprettholde maskinbruken. Tilsvarende har vi hjelpeenergi til bygninger, grøfter, vanningsanlegg. Direkte energi er brensel og elektrisk strøm, såkalte energibærere, mens indirekte energi er gjødning, kalk osv.

#### Fordeling av hjelpeenergi på innsatsgrupper i ulike produksjoner

I tabell 1 er gitt fordelingen av hjelpeenergi i ulike produksjoner (e NLVF-utredning 111,1980).

Tabell 1. Energibruk i ulike produksjoner 1979,  
Prosentvis fordeling på innsatsgrupper

Innsatsgruppe	Korn	Poteter	Grønn- saker	Melke- prod.	Kjøtt- prod.
Energibærere, totalt	23	26	30	24	20
Maskinbruk	19	21	16	13	14
Bygninger	3	12	8	11	9
Grøfter, vanningsanlegg	3	2	4	2	2
Gjødsel og kalk	48	28	23	28	36
Førmidler	-	-	-	17	15
Annet	4	11	19	4	4
<u>Produsert energi</u> = e	1,9	1,0	0,31	0,26	0,06
<u>Brukt energi</u>					

I tabellen er førmidler = innkjøpt fôr, mens grovfôret er regnet med ved hjelp av gjødsel, kalk osv. Melkeproduksjon og kjøttproduksjon gjelder storfe. De virkningsgradene som er regnet ut i nederste linje i tabellen, viser at kornproduksjonen gir dobbelt så mye energi ut som forbrukt hjelpeenergi, mens kjøttproduksjonen gir bare 6% energi ut av det som er satt inn.

#### Bruk av maskiner

I planteproduksjonen kan muskelarbeid av mennesker og trekkdyr erstattes med bruk av maskiner og plantevernmidler. Maskiner kan settes inn i jordarbeiding, såing, sprøyting, høsting og transport av fôr og gjødsel.

Maskinbruk øker ikke produksjonen på samme måten som vann og næringsstoffer, men er et nødvendig ledd i produksjonen. Det er nødvendig å skaffe seg opplysninger om størrelse av maskinpark, varighet, brenselforbruk, smøremidler, reparasjoner og annet vedlikehold.

Erstatning av arbeid med maskinbruk beror på rent økonomiske faktorer. I perioden 1950-1975 steg arbeidskostnadene til det 20-dobbelte, mens maskinprisene økte 3,5-4 ganger (Nilsson 1979). Valg av alternativer mellom arbeid og maskiner kan derfor nokså enkelt forklares som et kostnadsspørsmål for den en-

kelte bonde. Men når bonden ikke lenger leier arbeidskraft, kommer det også inn andre vurderinger. Arbeidsevnen for maskinparken velges ut fra forholdet mellom laglighetskostnad og maskinkostnad. Med laglighetskostnad menes det tapet en får ved å bli forsinket med såing om våren, høsting om høsten osv. i forhold til optimal tid (Nilsson 1979). I virkeligheten er dette en slags sikkerhetsvurdering. Skal maskinparken ha stor nok arbeidsevne til å mestre værforholdene i 19 av 20 år? 4 av 5 år? Norge har spesielle problemer når det gjelder energiutgiftene til maskinbruk. Først og fremst er Norge et småbruksland, slik at det blir en større andel av energibruken på maskiner enn i land med en mer gunstig bruksstruktur. I tillegg er det en kort vekstsesong som derfor må utnyttes mest mulig. Laglighetsvirkningen blir derfor stor under norske forhold, spesielt i kornproduksjonen, hvor såtiden er svært avgjørende for avlingsstørrelsen.

På grunn av kompensasjonsprinsippet ved jordbruksforhandlingene kan en imidlertid risikere at det ikke er maskinens effektivitet som gir økte maskinkostnader, men faktisk også kjørekomfort, standard i førerhytta, innviklede innstillingsmuligheter etc.

### Gjødsling

#### Produksjonsfaktorenes virkningsgrad

For å få et mål for energiutnytting ved bruk av gjødsel, kan en bruke grenseproduktiviteten (grensenytten, grensevirkningsgraden) for energi.

$$e_G = \frac{a \Delta A}{g \Delta G}$$

$e_G$  = grenseproduktivitet for energi ved bruk av gjødsel

$a$  = energiinnhold pr kg avling

$\Delta A$  = meravling

$g$  = energiekvivalent for gjødsel

$\Delta G$  = mergjødsling

Resultatet av en slik beregning er avhengig av  $a$ , f.eks. om  $a$  representerer bruttoenergi (brennverdi) eller omsettbar energi. Energi i mat og energi i gjødsel har ulik etterspørsel og ulik pris. Men fra et termofysisk standpunkt kan det beregnes en

virkningsgrad. Den innsatsen som gir  $e_G = 1,0$  er dat et energimessig optimalpunkt.

### N-gjødsel til gras

Et materiale som omfatter høstetid og N-gjødsel til eng er publisert av Pestalozzi (1980). I dette materialet var det mindre tørrstoffavling ved 3 høstinger enn ved 2 høstinger, og selv om en regnet på førehetsbasis var det omtrent ikke forskjell.

Som vist i tabell 2 var imidlertid virkningsgraden for N-gjødsling større ved 3 enn ved 2 høstinger. Tallene er beregnet ut fra korrigerede tørrstoffavlinger slik at større energiinnhold ved tidlig høstestadium skulle komme fram.

Tabell 2. Virkningsgrad,  $e_N$ , for N-gjødsling ved 2 og 3 høstinger i gras på Sør- og Vestlandet, samt tørrstoffavlinger pr dekar ved minste og største N-mengde. Beregnet på grunnlag av Pestalozzi (1980).

Antall høstinger	Avling kg tst/daa minste N-mengde	Avling kg tst/daa største N-mengde	$e_N$ ved N-trinn			
			16-20	20-24	24-28	28-32
2	1039	1101	1,5	0,5	0,4	
3	898	995		2,0	1,2	0,6

Det er forutsatt at fôret er brukt til melkeku. Vi ser at  $e_N$  er større enn 1,0 ved økning i N-gjødsling fra 16-20 kg ved 2 høstinger, men opp til 24-28 kg N ved 3 høstinger.

Bærug (1977) har publisert en melding om engforsøk på Sør-Østlandet, der det var gitt 12-24-32 kg N/daa.  $e_N$  for trinnet 12-24 kg N var 1,2 mens  $e_N$  for trinnet 24-32 kg N var 0,5, noe som viser at ett eller annet sted rundt 20 kg N/daa faller  $e_N$  under 1. Avlingsnivået ved 12 kg N/daa var i Bærugs materiale 739 kg grastørrstoff pr dekar.



grunnlag i Uhlens tall viste at  $e_N$  ble mindre enn 1,0 ved N-mengder større enn 20 kg/daa, bortsett fra 1. år.

Som en grov regel kan en si at det kreves ca 6,5 kg meravling av grastørrstoff for at den siste innsatte kg nitrogen skal gi like mye energi ut som medgått hjelpeenergi hvis graset brukes til surfôr. Siden disse forsøkene ikke omfatter 0-ledd, er det ikke mulig å beregne en gjennomsnittlig virkningsgrad.

Ved dagens engdyrking er det en rekke problemer som henger sammen med kravet til høg fôr kvalitet, med stort husdyrtall i forhold til gårdens heimeareal og med stort forbruk av fôr produsert utenfor gårdens heimeareal. Driftsmåten fører med seg stor trafikk ved vannkjøring til fjøset av rått gras, og fra fjøset i form av bløtgjødsel. Resultatet er mange hjulspor, for store mengder bløtgjødsel, dårlig overvintring av graset, overflateavrenning av fosfater til vassdragene. Det er heller ikke noen økonomisk oppmuntring til en langsiktig god planteproduksjon på egne arealer.

I danske undersøkelser av Hjortshøj, Nielsen & Rasmussen (1978) ble de forskjellige fôrmidlene sammenlignet med hensyn til avling, og virkningsgrad av hjelpeenergi. Resultatene er vist i tabell 3.

Tabell 3. Energiutbytte pr enhet hjelpeenergi for noen fôrvekster.

Vekst	Tørrstoff avling kg/daa	N kg/daa	Energivirk- ningsgrad
Bygg (uten halm)	370	11	2,8
Fôrbeter, med husdyrgjødsel	1100	11	5,1
" uten "	1100	17	4,3
Kløver-grassurfôr	900	32	2,3

Ved beregning av energivirkningsgrad er det brukt omsettbar energi for energi i produktet. Vi ser at fôrbetene særlig ved blandet gjødsling med husdyrgjødsel og kunstgjødsel kommer ut bra både i tørrstoffavling og energivirkningsgrad.

Energibruk og energiutnytte for belgvekster og gras er gjennomgått av Breirem (1982a) som på grunnlag av tall fra MacKey (1978) viser at den beregnede energiutnyttningen av fotosynteat for produksjon av karbohydrat-protein-fett har vært henholdsvis 93-49-82 prosent.

Proteinplantene gir derfor et dårligere energiutbytte enn karbohydratplantene. Breirem (ibid.) hevder bl a at det fra energiøkonomisk synspunkt ikke er noe å innvende mot dyrking av korn til husdyrfôr. Det er kostbart energimessig å produsere protein i gras og det er derfor grunn til igjen å vurdere innblanding av belgvekster i enga. Vi gjengir i tabell 4 noen resultater av Gordon (1980).

Tabell 4. Innsats av N og energi og utbytte i avling og energi for gras og gras+kløver.

Innsats og utbytte	Gras	Gras + kløver
Kg N/daa	45	6
Energiinnsats i alt MJ/daa	3749	681
Avling kg tørrstoff/daa	1320	970
Energiutbytte MJ/daa	14520	10670
Energivirkningsgrad	3,8	15,7

Virkningsgraden er beregnet på grunnlag av omsettbar energi i fôret.

Avlingsmengder, målt som energi har altså vært 36% større ved stor N-mengde til gras, mens virkningsgraden har vært langt større for gras + kløver.

På grunn av kanaliseringen av husdyrproduksjonen bort fra områder med naturlig gode betingelser for kløver, er energiøkonomisering ved hjelp av mer belgvekstdyrking begrenset i Norge (Breirem 1982a)

En beregning av energiforbruket ved produksjon av 1 fôrenhet av ulike fôrmidler er utført av Breirem (1982b) og resultatene er vist i tabell 5.

Tabell 5. Energibruk ved produksjon av 1 fetningsförenhet (ffe) og laktasjonsförenhet<sup>(lfe)</sup> av ulike förmidler.

Förmidler	MJ/ffe	MJ/lfe	Virkningsgrad
Bygg	4,9	5,0	2,3
Bygg + NH <sub>3</sub> -behandlet halm	5,1	4,9	2,4
Kålrot + blad	5,6	4,4	2,5
NH <sub>3</sub> -behandlet halm	5,7	4,5	2,8
Poteter, för	6,0	5,3	2,1
Kulturbeite, beiting	7,6	6,6	1,8
Høy, hesjetørket + håbeite	8,6	6,8	1,8
Kulturbeite, grønnföring	8,8	7,5	1,5
Høy, bakkjetørket + håbeite	9,1	7,2	1,7
Surför + håbeite	9,5	8,3	1,4
Høy, låvetørket + håbeite	10,1	8,1	1,5

Korn, knollvekster og NH<sub>3</sub>-behandlet halm gir stort energiutbytte i forhold til brukt energi, mens gras kommer ut nokså dårlig.

#### Antall høstinger i grasproduksjonen

I grasproduksjonen ligger den mest innlysende sparemuligheten i redusert antall høstinger f eks fra 3 til 2 eller 4 til 3. Etter Pestalozzi (1980) og NLVFs arbeidsgruppe for energiberegninger (1981) kan vi sette opp følgende oversikt over energibruk ved tre i forhold til to høstinger.

Tabell 7. Avlingsforskjell og energibruk for tre høstinger (H3) i forhold til to høstinger (H2), Beregningsgrunnlag e. Pestalozzi (1980).

	Avling H3-H2		Hjelpeenergi H3-H2		Totalt energitap H3-H2
	f.f.e./daa	MJ/daa	N	MJ/daa Høsting, m.m.	
N1	-16	-163	260	253	676
N4	+ 3	+ 30	260	253	483

N1 var 16 kg N/daa ved H2 og 20 kg N/daa ved H3, og N4 var 28 og 32 kg N/daa.

For de fleste arbeidsoperasjoner ved 3 høstinger er det regnet et tillegg på 40% i forhold til 2 høstinger og for maskinslitasje, vedlikehold 20% tillegg. Det er brukt omsettable energi for grassurfør. I siste kolonne i tabellen er merforbruket av hjelpeenergi, som svarer til ca 15 l dieselolje pr dekar, lagt til avlingstapet ved 3 høstinger, og en får da et totalt energitap som svarer til 19 og 14 l dieselolje pr dekar. Fra økonomisk synspunkt er en slik summering det rene nonsens, men ut fra en ressursbetraktning kan det forsvares.

To høstinger kan være tilfredsstillende for kvaliteten av fôret, dvs proteininnhold og førenhetskonsentrasjon, når det gjelder eng med overveiende innslag av timotei. Da må første høsting tas ved begynnende skyting og annen høsting 6-8 uker senere. Tilbakegangen i fordøyelighet ved utsatt annen slått er mindre enn ved første slått, muligens på grunn av ujevn morfologisk utvikling av gjenveksten. Spørsmål som gjelder kvalitet i forhold til høstetidspunkt er grundig gjennomgått av Breirem og Homb (1970).

I forsøkene til Pestalozzi var råprotein pr dekar 23 kg og 34 kg større for de to N-mengdene ved H3, enn ved H2.

I en forsøksserie med jordpakking i eng (Myhr og Njøs, unpubl.) har det vært klare negative virkninger av maskintrafikken ved 3 i forhold til 2 høstinger. I ett forsøk ble timoteien etter hvert borte ved 3 høstinger. Kveka overtok denne plassen. Andre steder i landet har det vært betydelig ugunstigere med tre enn med to høstinger. Myhr (1975) har funnet en avlingsnedgang på 400-500 kg tørrstoff pr dekar av timotei ved tre i forhold til to ganger høsting. En viss del av veksttida går tapt når en høster 3 ganger. I fjellet og i N-Norge gjelder det samme ved 2 høstinger.

#### Diskusjon

I dette foredraget har vi brukt grenseproduktiviteten eller grensevirkningsgraden for energi som mål for energimessig utnytting av innsatsfaktorer som gjødsling og vanning. I fysikken defineres energivirkningsgrad slik:

$$\text{Energivirkningsgrad} = \frac{\text{Nyttig energi ut}}{\text{Energi inn}}$$

I planteproduksjonen vil vi få flere virkningsgrader for samme produkt, etter hva produktet skal brukes til. Det er bruken som bestemmer hva som er nyttig energi. Vi har stort sett holdt oss til omsettbar energi til mat og fôr, men vi har også nevnt bruttoenergi, i tilfelle produktet skal brukes til brensel. Når det gjelder "energi inn" har vi holdt oss til hjelpeenergi, selv om solenergien går inn i prosessen. Når vi bruker grensebetraktninger for den enkelte innsatsfaktor skulle det i alle fall være riktig å holde solenergien utenfor.

Som optimalverdi for en innsatsfaktor har vi brukt innsatsmengden som gi en grensevirkningsgrad eller grenseproduktivitet for energi = 1,0, med andre ord det punktet hvor meravlingens energiverdi = merinnsatsens energiverdi.

Denne betraktingsmåten passer bra for produksjon av brensel fra skog, etanol eller rapsolje. Når produktet av brensel skal brukes til mat eller fôr, kan virkningsgraden være et mål for den ressursmessige energiutnyttningen av innsatsfaktorene i forskjellige produksjoner.

I virkeligheten blir ingen handlinger bestemt av energibetraktninger. Den enkelte bonde vil foreta en økonomisk optimalisering, hvor aller betingelser, medregnet tilskottsordninger, blir vurdert. Selv om prisen på hjelpeenergi stiger sterkt, vil ikke det føre til en ressursmessig bedre energiutnyttning. Ordninger med full kompensasjon for kostnadsøkningen vil ta oppmerksomheten bort fra spørsmålet om ressursusholdning. Når det gjelder maskiner, kan det skilles mellom "effektivitetskostnad", "innviklethetskostnad" og "komfortkostnad". I dag er det en tendens til at de to siste øker nokså sterkt.

Pengene er den eneste felles måleenhet for produkter og inn-

satsfaktorer. Fra økonomisk synspunkt har beregninger av et energimessig optimum ingen verdi.

Når det gjelder arbeid, kan det se ut som om optimum alltid ligger i retningen av minimum. Prisforholdet mellom arbeid og annen hjelpeenergi, regnet pr kWh, kan ligge i området 50 - 100. I jordbrukets planteproduksjon steg prisforholdet fra ca 70 i 1973 til ca 90 i 1976 (Njøs 1978). Dette må resultere i en sterk mekanisering. Maskiner er et alternativ til arbeidskraft.

Ved grasdyrking kan det være plass til betydelig innsparing av energi på maskingsiden. To høstetider i forhold til tre, eventuelt tre i forhold til fire, vil bety like stor energihøst og betydelig mindre energiutgifter. I et eksempel fra det området der tre høstetider har mest for seg - Sør-Vestlandet - var den totale energigevinsten ved å gå fra tre til to høstinger 14-19 liter dieseloilje pr dekar. I andre områder kan gevinsten være større. Baksiden av denne innsparingen er mindre førenhetskonsentrasjon og mindre proteinavling.

De tallene som er representert i foredraget viser at den til dels stormende kritikken mot bruk av kunstgjødsel på energibasis må skyldes manglende kunnskap eller vilje til å sette seg inn i jordbrukets energihusholdning. Gjennom hele Middelalderen og til langt inn i det 20. århundre var næringsmangel det alvorligste problem for store deler av den norske planteproduksjonen. På moldrik jord innen deler av kambrøsilurområdene kan det være så stor N-reserve at en kan tære på den i lange tider og opprettholde middels store avlinger. Hvis det er 1000 kg N pr dekar i rotsonen, og det blir mineralisert 1% pr år, gir dette 10 kg N pr dekar. Men slike arealer er unntak.

Belgvekster gir sjelden det samme energiutbyttet pr dekar som karbohydratvekster. Dette skyldes delvis at den bio-

logiske fikseringen av nitrogen er energikrevende. I tillegg må denne energien skaffes fra fotosyntesen (Delwiche 1977). Hvis vi som eksempel setter en grense ved 35 kg N pr dekar og velger en vekst med 2% N kunne vi produsere 1750 kg tørrstoff. Setter vi 10% N skulle vi kunne produsere 350 kg tørrstoff. Proteinproduksjonen ville da være den samme, mens energiproduksjonen ville være ca 5 ganger større i første tilfelle. - Likevel, et innslag av kløver i enga og dyrking av andre belgvekster både for mat, fôr og eventuelt som brensel, er aktuelle forskningsspørsmål. Når det gjelder grasproduksjonen, kan det være av interesse å nevne noen eldre forsøksresultater. Ødelien og Hvidsten (1958) fant ved to høstinger (første gang ved skyting av timotei) en avling på 636 kg høy pr dekar uten N, stigende til 1326 kg høy pr dekar ved 18 kg N/daa. Beregninger av  $e_N$  for tre trinn N-gjødsel hvert på 6 kg N/daa viser  $e_N = 6,6 - 5,3 - < 3$  for de tre N-trinn. Dette materialet gjaldt kløverfattig eng. Ingebrigtsen (1960) - i forsøk med kløverrik eng - fant at avlingene ved 0 kg N/daa var 857 - 694 - 465 kg/daa høy for 1., 2. og 3. år. En beregning av energivirkningsgraden for hans materiale viste at  $e_N$  var 5,6 for første N-trinn (4,2 kg N/daa) og 4,2 for andre N-trinn (8,4 kg N/daa) de to første årene og ca 1 enhet høyere det tredje året. Problemet med kløver i eng er sikkerheten. Avlingene avtar ikke bare sterkt med alder på enga, men varierer også sterkt på grunn av overvintringsforhold. Det er ellers grunn til å merke seg at i Ødelien og Hvidstens materiale var  $e_N$  for hele området 0 - 18 kh N/daa 5,1, omtrent samme nivå som for korn beregnet etter Lyngstads materiale (1981). Totalt sett skulle det være riktig å ha betydelig kløverinnslag i enga, spare på N-gjødsel første året og deretter øke N-mengden med avtakende kløverbestand. I løpet av en engperiode ville denne driftsmåten, sammen med 2 høstinger i S-Norge (1 høsting i N-Norge og til fjells) gi en energiøkonomisering, billigere føreheter og billigere protein. Men det trengs

forskning på dette området.

Avlingen som ble oppnådd i det allsidige vekstomløpet som kom i bruk i England på slutten av 1700-tallet, gir ikke store forhåpninger om å opprettholde dagens avlingsnivå og matproduksjon. Grønngjødselvekster vil ikke passe som mellomvekster i land med svært kort veksttid. De er mest aktuelle etter tidlige grønnsaker eller poteter. Dyrker en tidligkløver i korn, vlr det konkurranse om vann og lys, og en kan ikke vente noen store innsparinger - i hvert fall ikke økonomisk. Hvis en kunne utvikle kornslag med evne til biologisk fiksering av nitrogen, ville en god del energi kunne spares inn i form av kunstgjødsel, men avlingene ville sannsynligvis bli begrenset av energi skaffet fra fotosyntesen (Delwiche 1977).

Frissel (1977) oppgir at med de mengder av N-gjødsel som brukes i et moderne jordbruk kan en regne med en effektivitet på 50% ved åkerdyrking (matvekster) og 60% ved grasdyrking. På grunn av at nitrogenoverføringen mellom gras og husdyrprodukter er såvidt liten, blir den totale effektiviteten av nitrogen i gras-husdyrsystemet i middel bare 15%. Frissel slutter av dette at effektiviteten av N-gjødsel brukt til åkervekster (mat-vekster) i utviklingsland vil være større enn til grasmark i industriland.

Kanaliseringsen av jordbruksproduksjonen med konsentrert husdyrproduksjon i kyst-, dal- og fjellbygder har ført til svak energimessig ressursutnyttning. Det går med store energimengder til transport av konsummelk fordi produksjonen delvis foregår langt borte fra de store forbruksstedene. Den svært dårlige utnyttningen av husdyrgjødsel drar i samme retning. Mengdene på gårdens heimarealer blir uforholdsmessig store på grunn av stort forbruk av fôr dyrket utenfor disse arealene (kraftfôr, fôr fra utmarks- og leiearealer). Mye av husdyrgjødsel spres oppå enga. Husdyrgjødsel bør helst myldes



ned til vekster som kålrot og poteter. Lyngstad (1961) fant f.eks. i rotvekster større meravling for stigende N-mengder i kunstgjødning der det var gitt en grunngjødning med 3 tonn husdyrgjødning pr dekar enn der det ble gitt kunstgjødning. Beregninger med basis i Lyngstads avlingstall viste at  $e_N$  avtok til en verdi mindre enn 1,0 i området 15 - 22 kg N/daa der det var gitt kunstgjødning som tilleggsgjødning, mens  $e_N$  gikk under 1,0 i området 11 - 19 kg N/daa der det var gitt bare kunstgjødning.

Endelig må det nevnes at jorda i "husdyrområdene" for det meste er moldrik, mens mye av jorda i kornområdene kunne ha nytte av tilførsel av organisk materiale. Ut fra alle de forhold som er nevnt, må det være på høy tid å vurdere ressurs- og energibruk i den kanaliserte gras- og husdyrproduksjonen, samt beredskapsvirkninger av kanaliseringen.

Arnor Njøs  
Department of soil fertility and management,  
Agricultural University of Norway  
N-1432 AS-NLH, NORWAY

## PHYSICAL PROPERTIES OF PEATS AND THEIR IMPORTANCE IN CULTIVATED PEATLANDS

Peatlands and peat materials differ in behaviour from mineral soils. These differences may be caused by different properties, or by variations in physical state to which they are subjected. Accumulation of organic material in peatlands are related to the landform, the climate, and the soil. Land depressions, gently sloping land, soils of low permeability, rock barriers, high precipitation as related to evaporation, are land, soil, and climate parameters which contribute to accumulation of organic matter - under poor aeration conditions. The vegetation adaptable to physical and chemical conditions in this environment and the age of the accumulation have important bearings on the resulting behaviour of the peat material. Changes in the physical and chemical conditions, e.g. by drainage, liming, nutrient application, and cultivation may create a new physical and chemical environment in which accumulation of organic residues may change to fast decomposition, subsidence of the peat, as well as a change of the peat quality.

In the following an attempt has been made at a characterization of the physical properties of peat materials.

### The pore system of peat soils

A rough comparison of the volumes of pores and solids for a mineral soil and a peat soil is shown in fig. 1. In the mineral soil there are approximately equal volumes of pores and solids. Depending on soil structure there are around 1 - 1.5 tons of solids per  $m^3$ , in dense subsoils frequently up to 1.7 - 1.8 tons/ $m^3$ . The amount of organic matter varies according to climatic conditions, drainage and soil management. In Norway 30 - 100 kg of organic matter per  $m^3$  covers a wide range of plough layers of cultivated mineral soils.

Fig. 1

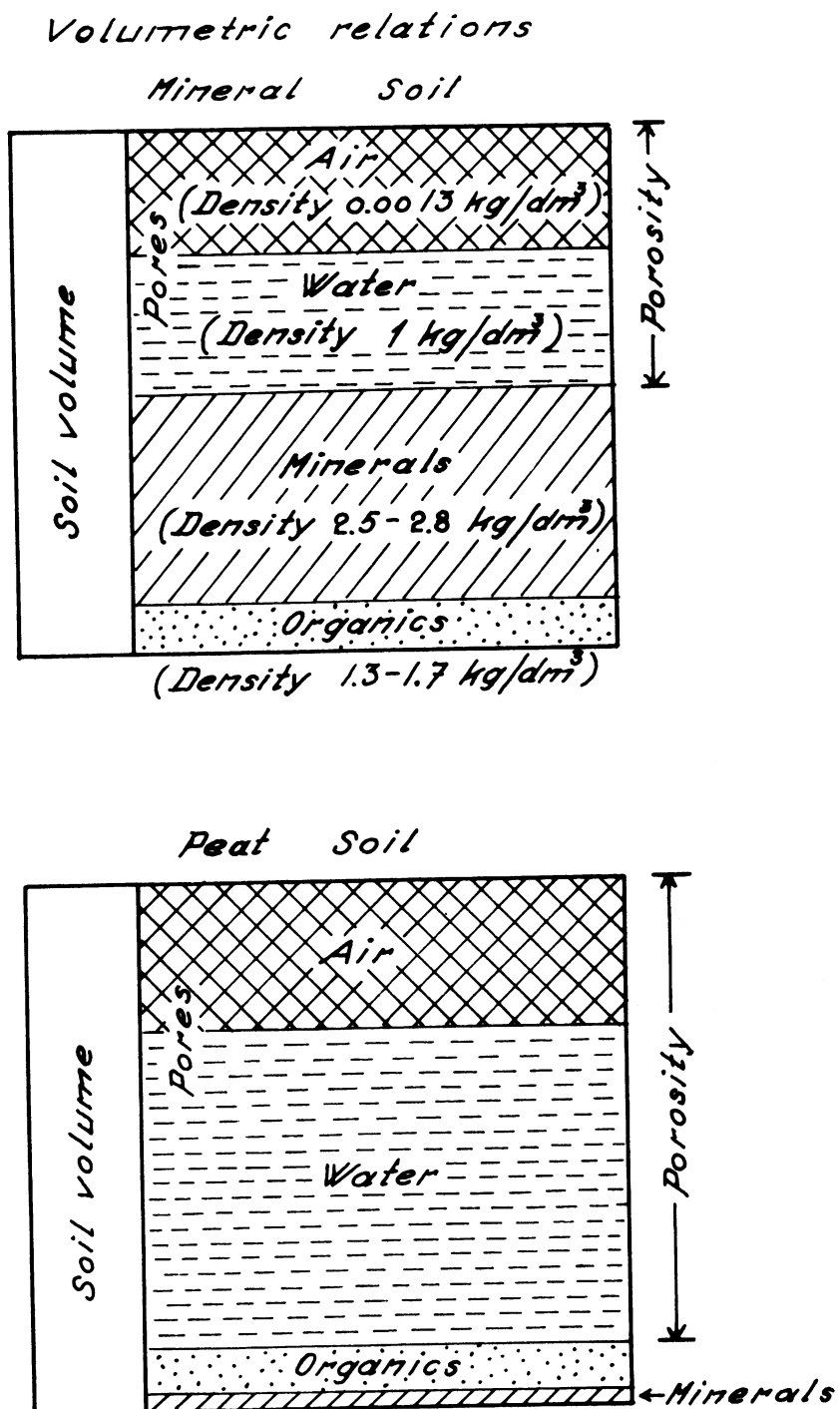


Fig. 1. Schematic presentation, showing volumes of air, water and solids in a mineral soil and peat soil, both at drainage equilibrium.

In the peat soils the porosity roughly ranges from 97 to 85 volume per cent, depending mostly on degree of decomposition. The amount of dry matter is of the order of 50 - 250 kg/m<sup>3</sup>, most of it organic matter. While the wet bulk density of a fully saturated mineral soil may be 1.7 - 2.2 tons/m<sup>3</sup>, a peat soil will tend to weigh just 1.02 - 1.05 tons/m<sup>3</sup>. In submerged condition the peat soil is almost floating since the buoyancy is about 1 ton/m<sup>3</sup>. A decrease of the ground water level brought about by drainage implies a loss of the uplift power of the water. The high water content of the drained peat may give unit weights of 0.4 - 0.8 tons/m<sup>3</sup>, which means a tremendous increase in consolidation pressure for the layers below the groundwater level. This, together with low soil strength, explains the large subsidence of deep peats after drainage.

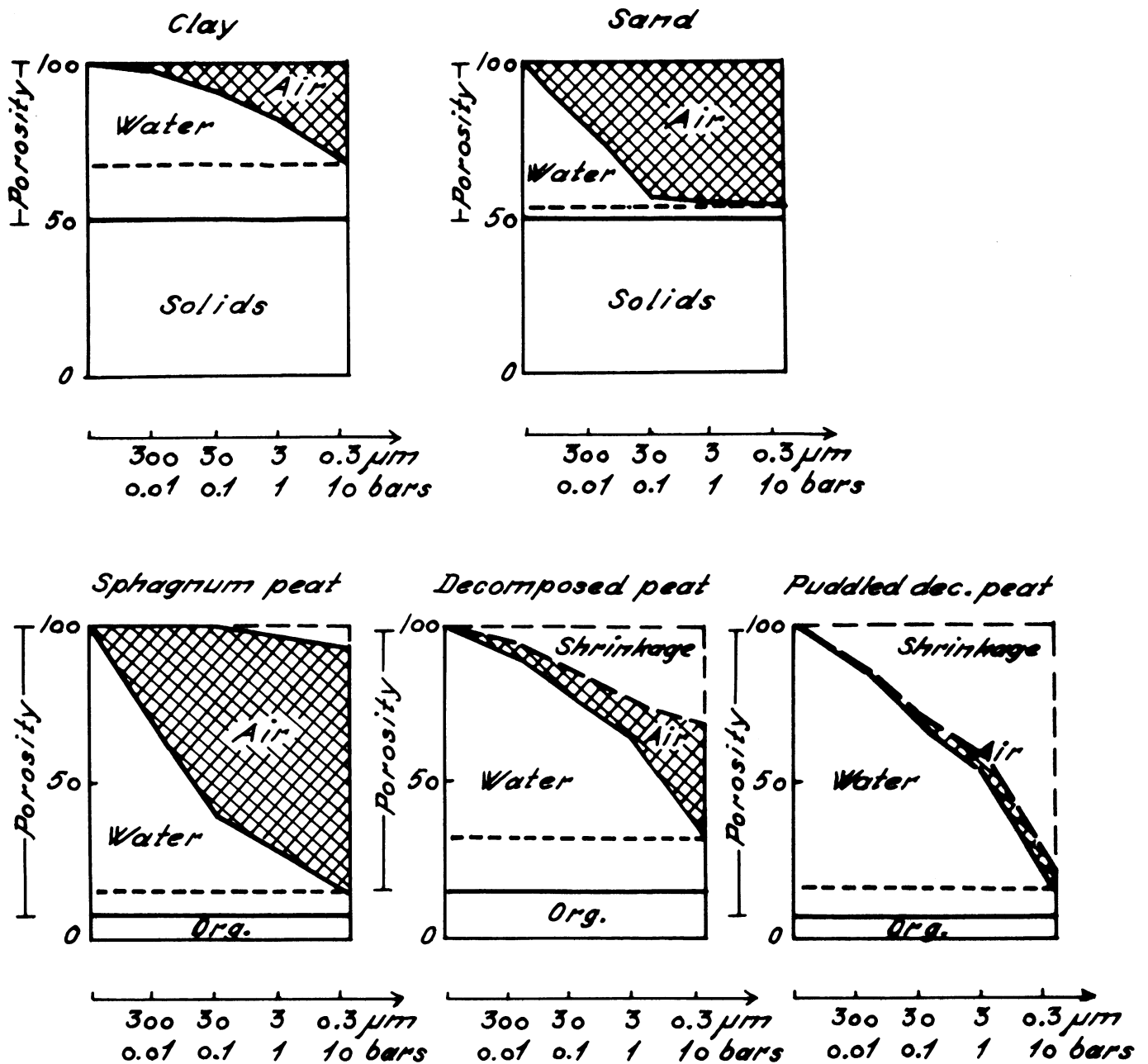


Fig. 2. Moisture desorption curves for two mineral soils and three peat soils.

In fig. 2 moisture desorption curves for five soils are shown, together with their volumes of pores and solids.

At the Department of soil fertility and management, 1432 Ås-NLH, Norway, the porosity is normally determined as the sum of measured air and water volumes at 0.1 bar extraction pressure (matric suction).

While the sand contains very little physically available water at 0.1 bar suction, the decomposed peat has an ample supply of physically available water (45 mm per 10 cm depth). This supply is much lower in the sphagnum peat (appr. 25 mm per 10 cm depth), and in the sand close to zero (appr. 3 mm per 10 cm depth).

The term physically available water is used for the difference between the water content at 0.1 bar suction (drainage depth of 1 m) and the water content at 15 bar matric suction.

Biologically available water would be the amount which the plant roots are actually able to extract from the soil. In the field the drainage conditions tend to determine the upper limit for available water, this limit ranging generally from 0.5 to 3.0 m drainage suction. In pressure terms this would be 0.05 bar to 0.3 bar. In pF units ( $pF = \log_{10}$  pressure head in cms of  $H_2O$ ) the range would be pF 1.7 to pF 2.5. In Norwegian clay soils, which are normally tile drained when cultivated, the upper limit of physically available water seems to correspond with approximately 1 m drainage suction, or pF 2.

In pot or basin cultivation the highest storage capacity frequently corresponds to a drainage suction of the order of 10 cm (0.01 bar, or pF 1). Under these conditions, sphagnum peat with low degree of decomposition is a favourable growth medium, having sufficient supply of water and a high air content - in fig. 2 roughly 50 mm physically available water per 10 cm depth and an air porosity of 30 volume per cent. Considering on the other hand the clay soil, the physically available water at 10 cm drainage suction would be around 30 mm per 10 cm depth, and the air porosity just 3 volume per cent! This air content is of course much too low for an adequate oxygen supply to the roots of most cultivated plants. (Rice has an air conducting system from the above ground plant parts and is not

dependent on the soil oxygen supply to the roots.) The oxygen supply for the root system is mainly limited by diffusion. The diffusion coefficient is related to the air filled pore space. KIRKHAM and POWERS (1972) summarized some of the work on the relation between the oxygen diffusion coefficient in soil vs. the oxygen diffusion coefficient in air. A generalized function may be written:

$$D = kD_a S^n \quad (1)$$

where k varies from 0.6-1 and n from 1-2  
for different authors

D = diffusion coefficient of oxygen in soil ( $L^2T^{-1}$ )

Da = " " " " " air "

k = proportionality constant

S = air porosity (fractional)

n = exponent

The most well-known function is probably Penman's (PENMAN 1940)

$$D = 0.6DaS \quad (0.0 < S < 0.7) \quad (2)$$

WESSELING and Van WIJK (1957) collected diffusion data from many authors. An equation that fits these data is:

$$D/D_a = -0.12 + 0.9S \quad (3)$$

This indicated a blocked pore space of 0.12/0.9 which is close to 13 per cent. Anyway, most research on the problem indicates that at high consumption of oxygen (high temperature, high biological activity in the soil) an air space of 10-12 per cent may be necessary to ensure fast root development.

If we consider the puddled decomposed peat, the figure constructed from data of NILSSEN (1978), there is a large shrinkage of the peat as the soil dries out, preventing air from entering the soil. This would be a very poor growth medium both under pot cultivation conditions and in the field.

In fig. 2 the pore sizes are indicated on the horizontal axis. These pore sizes (pore diameters) have been calculated from the well known Laplace formula:

$$h = \frac{2T \cos v}{Drg} \quad (4)$$

in which  $h$  = drainage depth, capillary rise (L)  
 $T$  = surface tension (water/air) ( $MT^{-2}$ )  
 $v$  = contact angle  
 $D$  = density of water ( $ML^{-3}$ )  
 $r$  = radius of capillary (L)  
 $g$  = acceleration due to gravity ( $LT^{-2}$ )

As an approximation for zero contact angle this formula may be written:

$$d = \frac{0.3}{h} \quad (5)$$

in which  $d$  = diameter of pore and  $h$  = drainage suction, both in cm.

If we want the pore diameter in  $\mu m$  ( $10^{-6}m$ ), we may write:

$$d = \frac{3000}{h} \quad (6)$$

in which  $h$  still is measured in cm. A drainage suction of 100 cm then gives a pore diameter of  $30 \mu m$ . In logarithmic form we have the formula:

$$\log d = 3.5 - \log h = 3.5 - pF \quad (7)$$

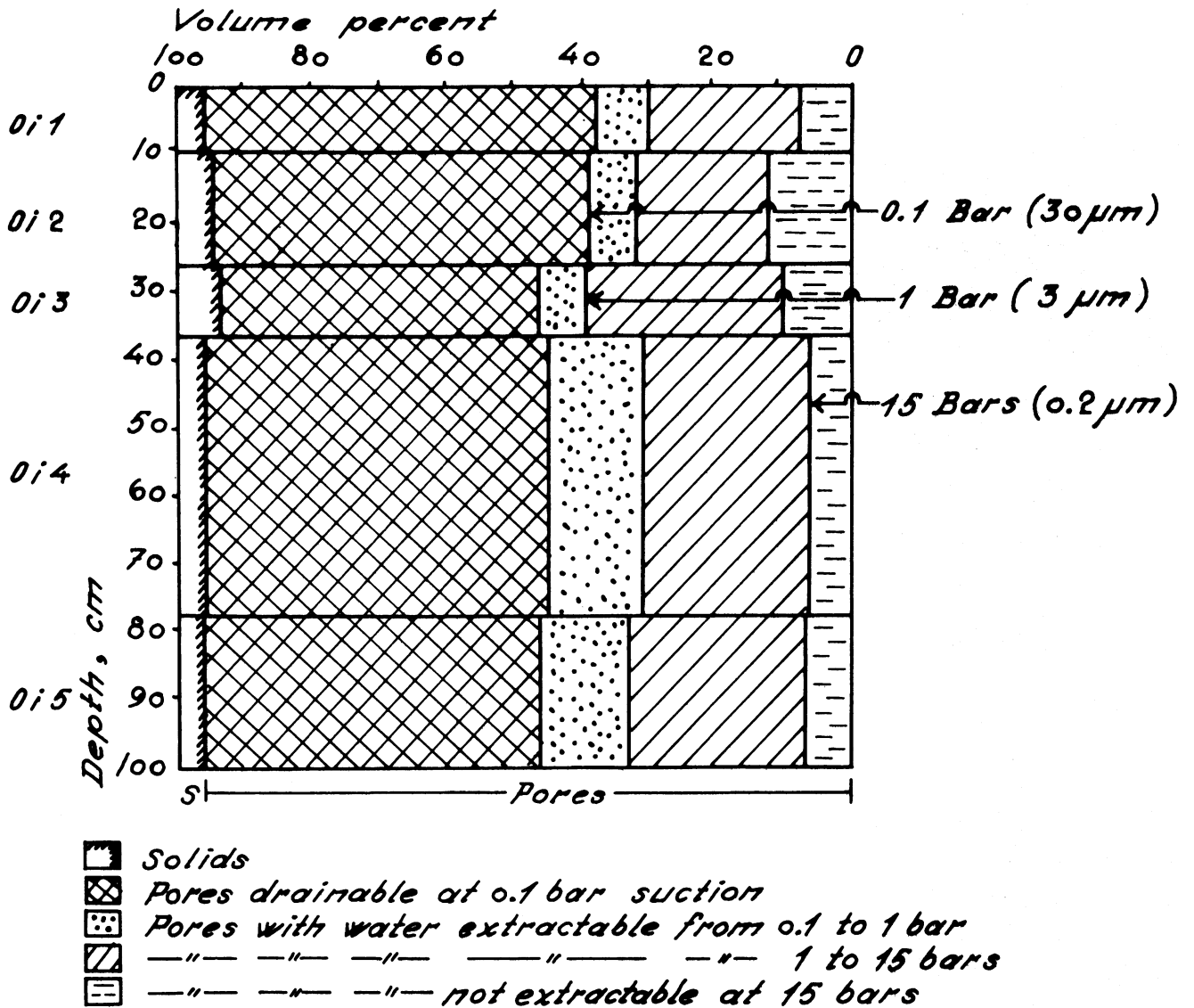


Fig. 3. Volume-Depth diagramme of a spagnum peat soil at As, Norway.



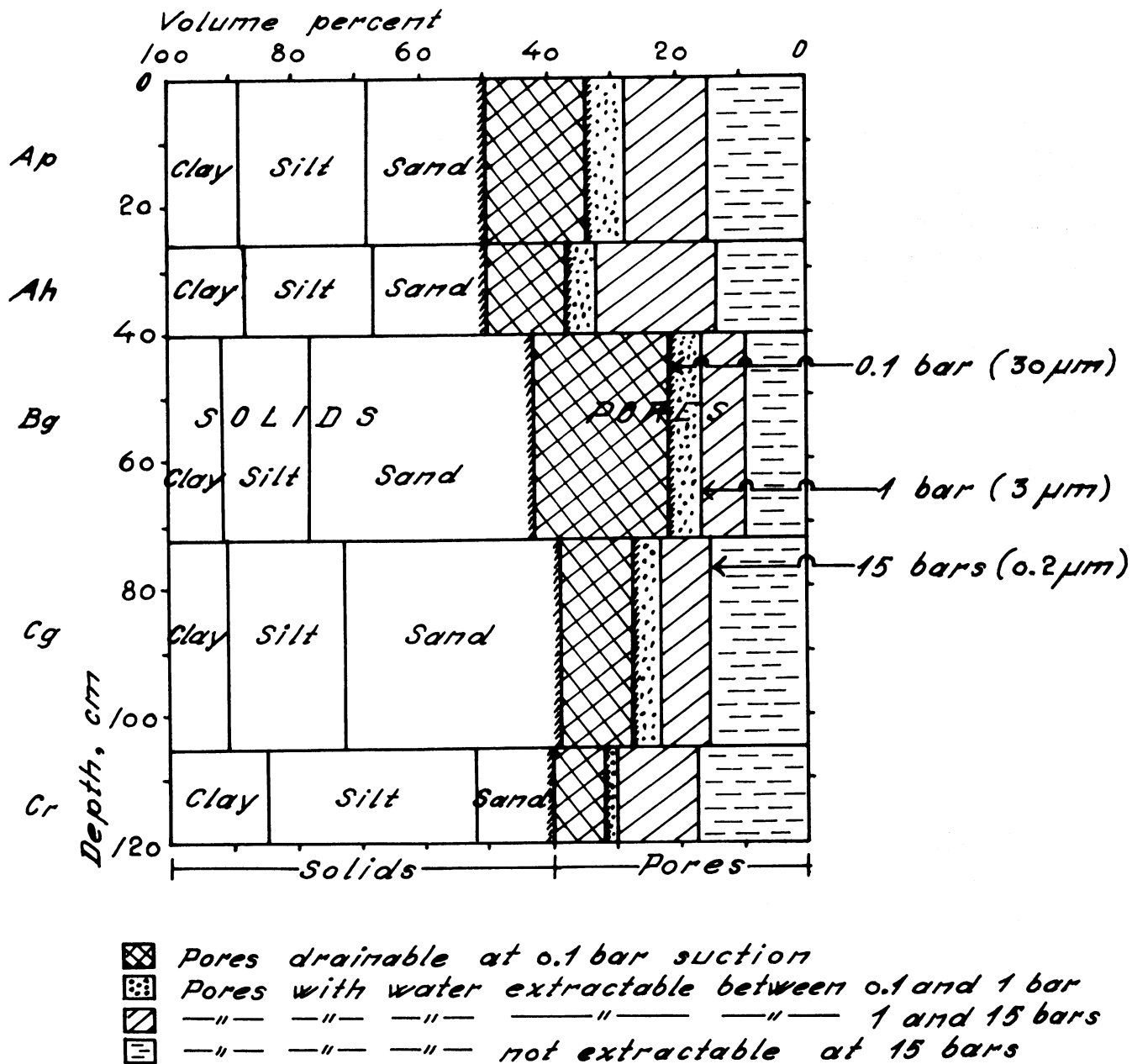


Fig. 4. Volume-Depth diagramme of a loam soil at As, Norway.

In figs. 3 and 4 are given pore size distributions for a profile in a little decomposed sphagnum peat soil and a profile in a loam soil at Ås, Norway. Taking the amount of physically available water between 0.1 bar and 15 bar matric suction it is seen that this amount is enormous in the peat soil, viz. of the order of 350 mm in the upper one metre of the profile, while in the loam soil, this water amount corresponds with 150 mm.

BOELTER (1969) has given an interesting figure of the volume per cent of water vs. energy level, measured as extraction pressure, and bulk density/fibre content of peats. See fig. 5. The pore size distribution changes very much from the fibric to the hemic, and then to the sapric peats. It is also seen that the 15 bar water percentage increases almost linearly with the bulk density or with the decrease in fibre content.

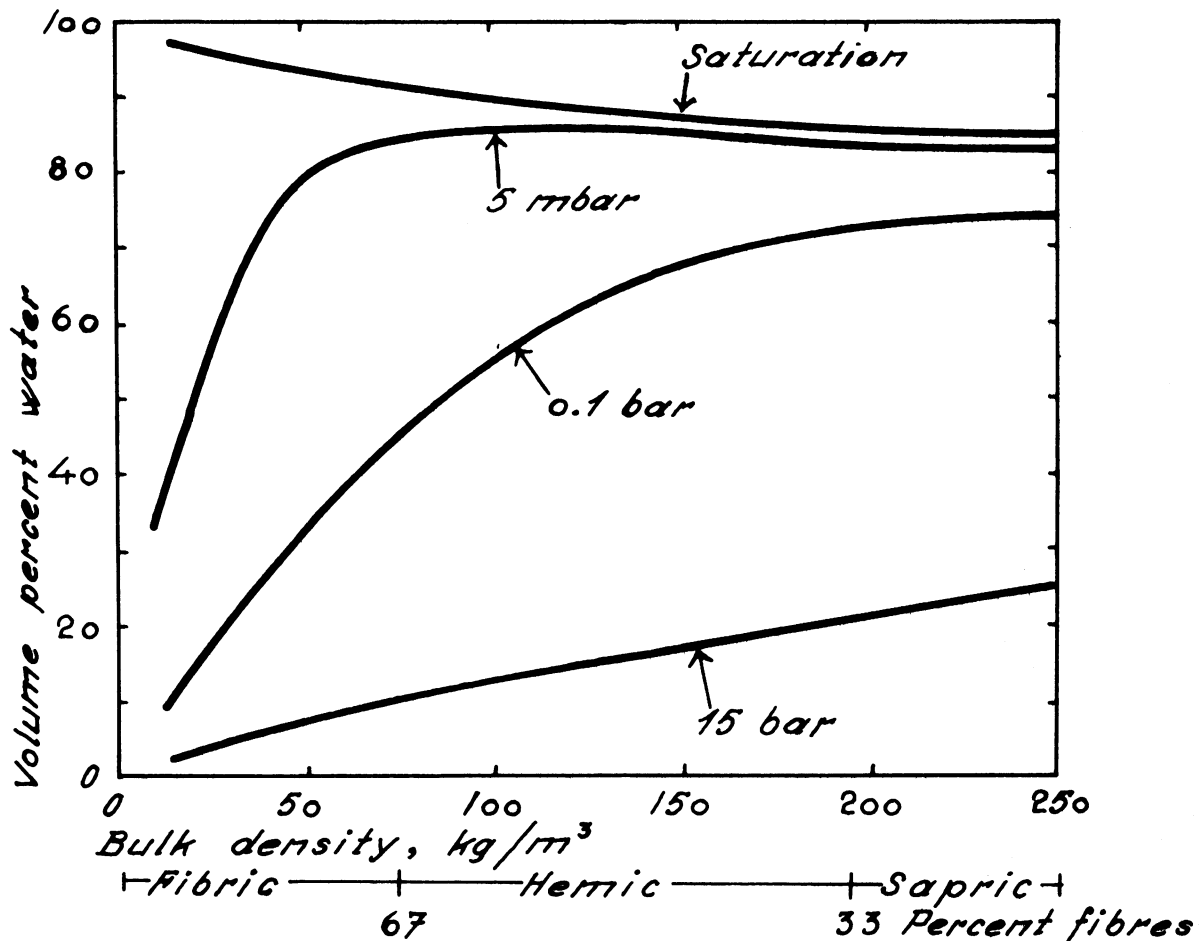


Fig. 5. Water content at different suctions for peat soils varying in bulk density/fibre content. (BOELTER, 1969)

For coastal peats from Senja in N. Norway NILSSEN (1978) found the following volumes of water extractable at different suctions:

	Depth	Volume per cent for range of suction	
		0 - 0.1 bar	0.1 - 15 bar
Cultivated peat	10 cm	10	46
Natural peat	10 cm	26	49
Puddled peat	(H6-H7)	25	55

H6 indicates v. POST (1921) scale value of humification. The interesting point is that this range of pore sizes of the puddled peat was not much different from that of the natural peat. The shrinkage, however, (see fig. 2) was much more affected. Almost no air entered the samples at 0.1 bar matric suction in the puddled peat. Thus, the coarse pores had disappeared from the soil after extraction of the water. The 15 bar water content ("wilting point") increases with decreasing content of fibre/increasing bulk density. For peats with bulk densities around 200-250 kg/m<sup>3</sup> it is often around 20 volume per cent in Norwegian peats. For cultivated peats the 15 bar water percentage is rather high. For some natural peats it has been found that grinding of the peat material before water extraction decreased the 15 bar water content by 2-6 per cent. Generally the time required for equilibrium of moisture extraction is very long for peat samples, i.e. there is a very long, almost flat "tail" of the outflow curve.

Little and moderately humified peat is a suitable material to add to tree bark products to increase their water holding capacity. See SOLBRAA and NJØS (1978). It might be mentioned that the 15 bar moisture content of ~~composted~~ bark decreased from 20 to 10 volume per cent by grinding of 3 month old composted bark, and from 22 to 11 per cent by grinding one year old composted bark. The ground values fitted rather well with biological determination of wilting 12 days after stopping the addition of water.

Permeability, infiltration rate, hydrology

The hydraulic conductivity of peats varies strongly with their fibre content, with depth, and even with the parent material. BADEN und EGGELESMANN (1963) used the bore hole method for measuring the hydraulic conductivity of peats in Germany. They characterized the hydraulic conductivity according to the degree of humification (decomposition) according to v. POST (1921):

v. Post degree	Hydraulic conductivity mm/day
< H3	> 500
H3-H5	500-100
H5-H8	100- 20
> H8	< 20

The authors maintain that at the same degree of decomposition (humification) sphagnum peats tend to have lower conductivities than grass peats.

NILSSEN (1978) in coastal peats in N. Norway found a pronounced decrease in hydraulic conductivity with depth (laboratory method, falling head):

Depth	v. Post degree	Hydraulic conductivity, mm/day
30 cm	H5-H6	250
50 cm	H6	93
70 cm	H6	14

He investigated the effect of puddling on peats with v. Post degree of humification H6-H7.

Treatment	Hydraulic conductivity mm/day
Unpuddled	14-24
Puddled	0.4-0.7

Under compression the permeability decreases rapidly. According to HANRAHAN (1954) a partly humified Irish peat under a pressure of 0.6 bars (which is less than the pressure under normal tractor wheels) showed the following development of permeability:

<u>Time</u>	<u>Permeability, mm/day</u>
Start	346
After 2 days	1.7
After 7 months	0.007

This development may explain the fast initial settlement of many drained peats (enforced load on deeper layers approximately similar to HANRAHAN'S load) and the slow, long term consolidation.

The infiltration rate of peats is often reduced by mixing with materials finer than coarse sand (SEGEBERG 1957). This has some bearing on deep soil mixing by ploughs and soil mixing machines. In measurements in Norway on a shallow, little decomposed sphagnum peat soil over silt loam, HESTETUN (1977) found the following results 2 years after drainage, deep mixing and cultivation:

<u>Parameter</u>	<u>Rotavator 30 cm</u>	<u>Plough 65 cm</u>	<u>Mixing wheel 65 cm</u>
Bulk density kg/m <sup>3</sup> , 20-25 cm	0.19	0.76	0.67
Infiltration rate, mm/day	2800	190	790

Both treatments effecting mixing of the silt loam subsoil with the peat layer, reduced the infiltration rate rather strongly.

The effect of peat land areas on stream flow has been well illustrated by BOELTER (1974). He states that organic soils are not good regulators of stream flow except for ground-water bogs. The flat topography and the high retention storage of water in peats may reduce runoff after short lasting stormflows, provided the ground water level is deep enough. If we carry on this reasoning a bit further, it means that drained peats with high agricultural or forest production are more suited for preventing high runoffs during the growing season than undrained peats. This is contrary to the popular belief among many amateur ecologists.

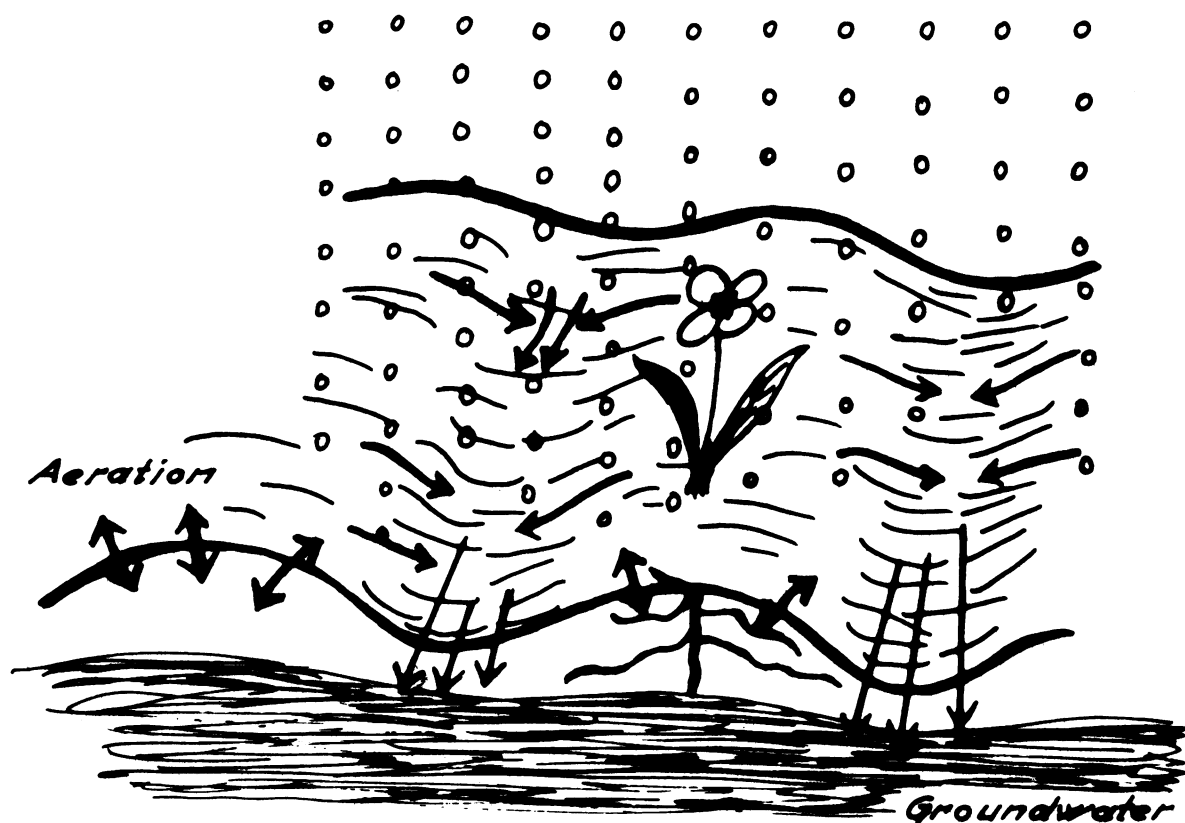


Fig. 6. Effect of surface shaping on water runoff and aeration in highly humified peats.

The results of draining peats are very dependent on the permeability of the peats. In the coastal areas of Norway with highly decomposed peats tile drainage has quite frequently failed. It seems that in these areas surface levelling and broad open trafficable drains may be a better solution for the foreseeable future. See fig. 6. At a research station in Western Norway HOVDE (1978) showed that the tile drain runoff increased after treating the backfill with 20 kg per m<sup>3</sup> of CaO in burnt lime. The runoff of the tile drains was further increased by leaving the drains open for frost and drying action for one year, as well as subsoiling to 40 cm across the drains with infill of burnt lime in the subsoiling tracks (furrows).

### Soil strength

The soil strength of peats is very low as compared to mineral soils. This is illustrated in figs. 7 and 8. The shear strength depicted in these figures has been measured with a vane and torquemeter. MacFARLANE and WILLIAMS (1974) state that at peat depths of 1.5 or 1.8 m in Canada the in situ shear strength is of the order of 488 to 1953  $\text{kp}/\text{m}^2$  (appr. 0.05 - 0.20 bars). JENSSEN (1976) measured the shear strength with a pocket vane and torquemeter and the tensile strength with a one axial

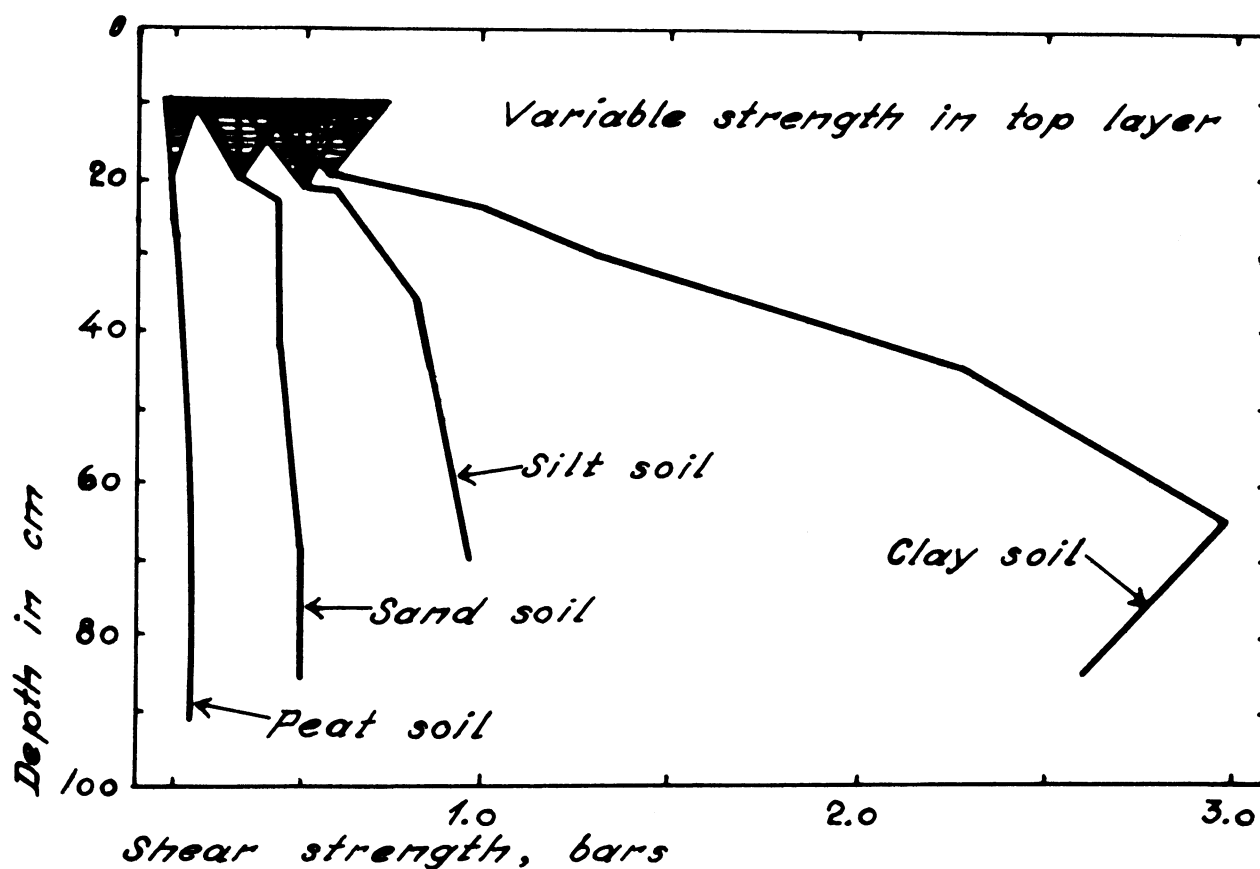


Fig. 7. Shear strength, measured with a vane and torquemeter, of four Norwegian soils, the peat soil having a.v. Post humification degree of H2-H3.

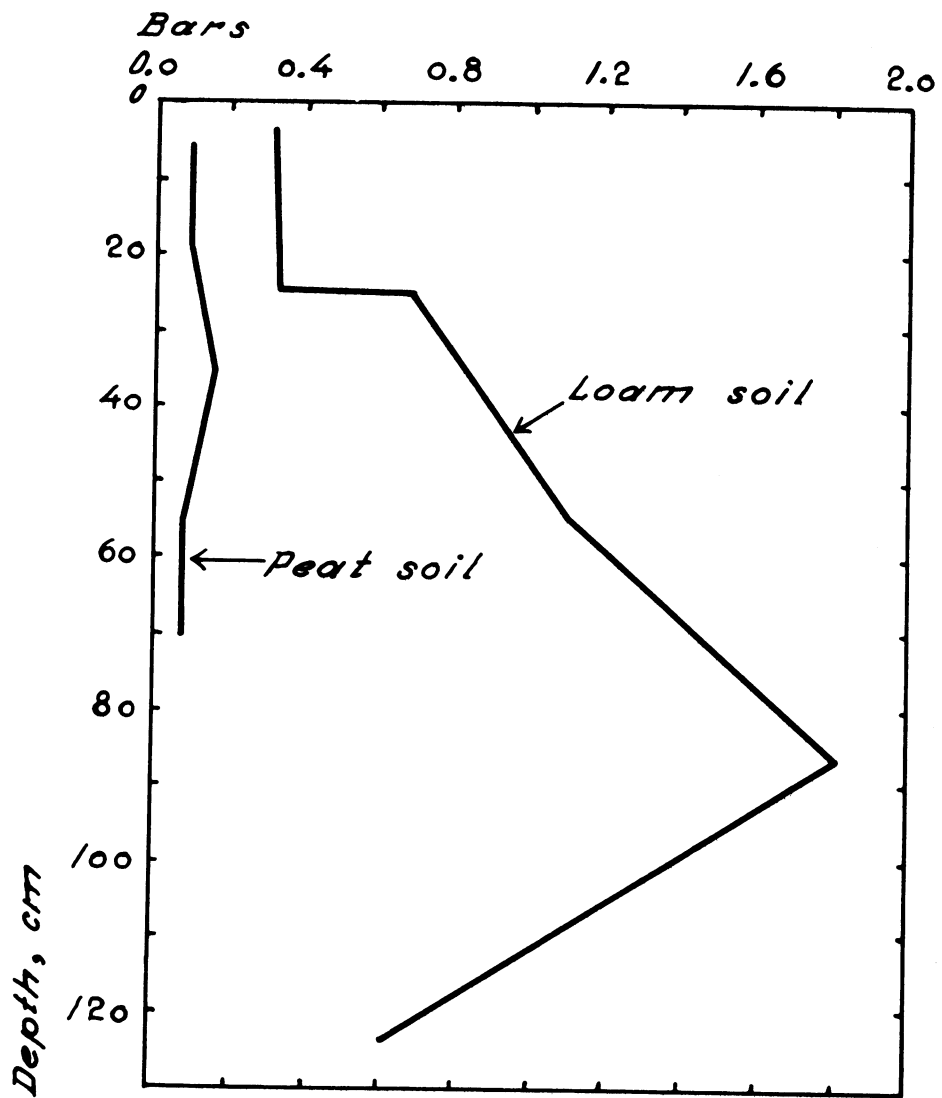


Fig. 8. Shear strength, measured, with a vane and torquemeter, of a peat (H3-H4) and loam soil at As, Norway.



apparatus and arrived at the following numerical values at 0.1 m depth of six peats in Eastern Norway:

Shear strength	0.14 - 0.29 bars
Tensile "	0.064 - 0.13 "

In an ombrogenous peat she found a range of shear strength from 0.12 to 0.24 bars with the highest value at 50 - 60 cm depth and lower above and below.

In a topogenous peat the shear strength was almost constant 0.30 - 0.34 bars in 0 - 170 cm depth but 0.50 bars at 200 - 220 cm depth. This peat was not included with the six peats mentioned above.

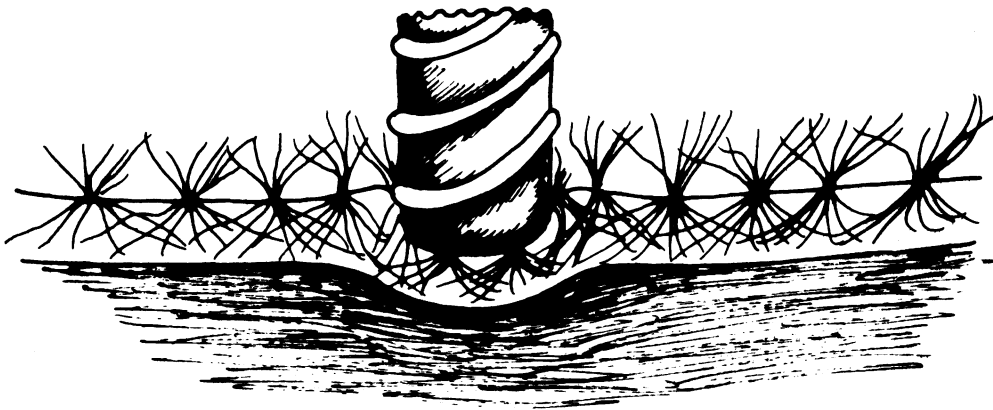
At the Department of soil fertility and management measurements of shear strength with a vane of 10 cm wing height and 20 cm diameter carried out on a sphagnum peat profile, showed results ranging from 0.062 bars in the top layer to 0.095 bars at 70 cm depth.

NILSSEN (1978) found the following values of shear strength measured with a vane with of 10 cm wing height and 20 cm diameter on peats with a humification degree of H5 to H7.

0 - 10 cm depths	0.14 bars
35 - 45 " "	0.11 "

The effect of water content in peats is not of very great interest for shear strengths of natural peats, as the ground water level is rather close to the surface and the water content accordingly very high.

*A dense root-mat under grasses  
strengtens the top layer*



*A loose top layer allows rupture  
and deep sinkage*



Fig. 9. Schematic presentation of the effect of a grass root mat on a peat soil.

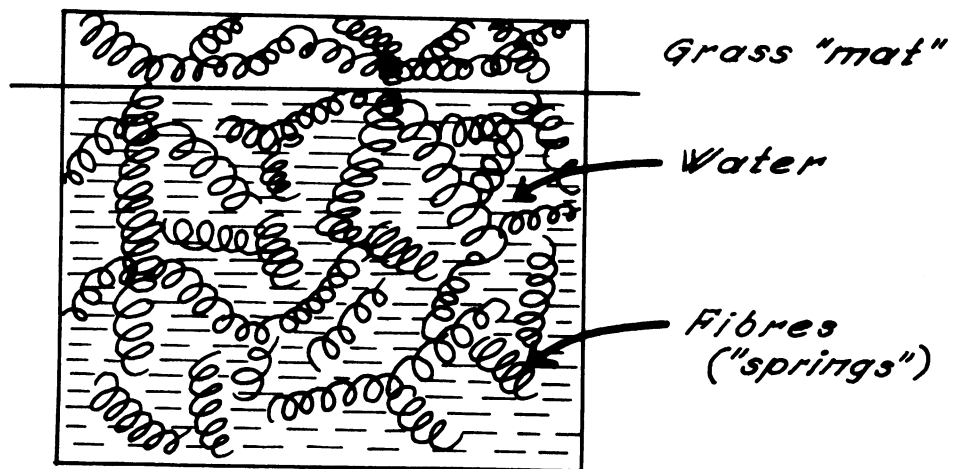
For cultivated peats the top layer is of considerable importance for the bearing capacity for animals and vehicles. A grass mat furnishes elasticity and strength to the top layer. As long as the vehicles are able to ride on this more or less floating layer, there is no risk of great damage to the plant cover or of deep wheel tracks. However, if this layer is broken, e.g. by excessive slip, the bearing capacity of the next layer may be less. See fig. 9. The grass species may

influence the shear strength of the top soil, as shown by LOTSBERG (1976). He measured the shear strength of grassland on organic soils in Western Norway and found the following results.

<u>Grass species</u>	<u>Shear strength, bars</u>
<u>Phleum pratense</u> L.	0.19
<u>Festuca pratensis</u> Huds.	0.22
<u>Poa pratensis</u> L.	0.25
<u>Phalaris arundinacea</u> L.	0.25

It turned out that Phalaris arundinacea and Poa pratensis had strengthened the soil more than Phleum pratense, while Festuca pratensis seemed to be intermediate.

*Little decomposed peat*



*Highly decomposed peat*

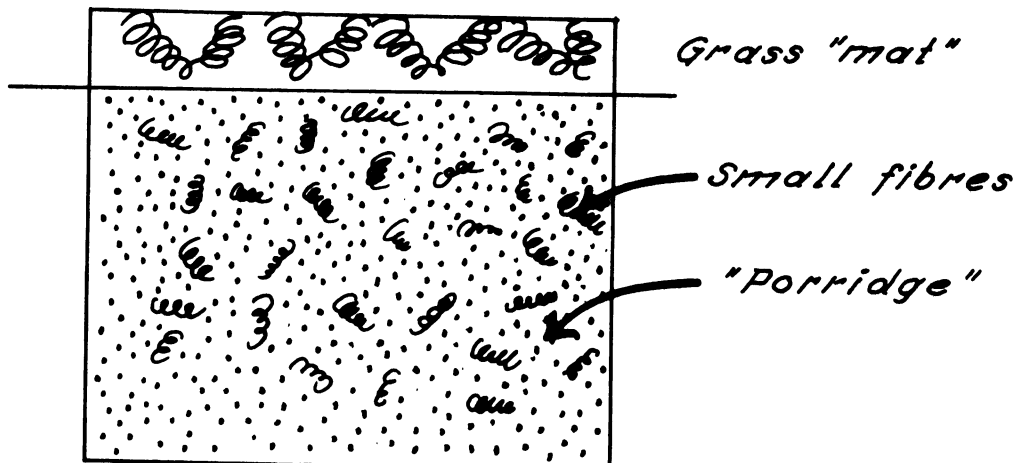


Fig. 10. Schematic presentation of the strength mechanism in a little and highly humified peat soil.

A model of the strength mechanism of little and highly decomposed peat soils may be illustrated as in fig.10. The plant fibres are envisaged as elastic springs, more or less interconnected with water in between. This model fits the little decomposed peat. In the highly decomposed peat there are few springs and they are rather short. The mass in between is a colloidal porridge where water is slightly solidified. When these two peats are cultivated for grassland, the grass mat or grass carpet enforces the top layer of both soils.

### Heat storage and transmission

The peat soils are considered cold soils on account of their position, frequently in topographical depressions, and their rather high heat storage capacity. The heat capacity at 0.1 bar suction of a loam and of two peat soils has been calculated per cubic metre (approximate calculation).

Soil	Volume at 0.1 bar suction, dm <sup>3</sup>			Heat capacity, kWh K <sup>-1</sup>			
	Water	Solids	Air	Water	Solids	Air	Soil
Loam	300	550	150	0.35	0.32	~0	0.67
Peat 1	700	80	220	0.82	0.05	~0	0.87
Peat 2	440	47	520	0.51	0.03	~0	0.54

K = degree Kelvin (or degree Centigrade), 1 kWh=3.6MJ = 860 kcal

For these three soils being at a moisture condition corresponding to 1 m drainage suction, the differences in heat capacity are not very large. However, at full saturation the heat capacity for the three soils would be 0.85 - 1.13 - 1.15 kWh m<sup>-3</sup>K<sup>-1</sup>, in the same order as above. The two peat soils described above were both little to moderately decomposed. Peat 1 was assessed to have a humification degree of H3 - H4, while peat 2 was in the range of H2 - H3, according to the v. Post scale.

Although the heat capacity of a <sup>drained</sup> peat soil may not be excessively higher than that of a loam soil, there are other heat properties that may be very different, e.g. heat conductivity and heat diffusivity. In table 1 are given heat characteristics for different soils as recalculated from WILLIAMS (1968):

	Volumetric heat capacity $\text{kWh m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$	Heat conductivity $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	Heat diffusivity $\text{m}^2 \text{ year}^{-1}$
Unfrozen peat	0.70 - 1.20	0.3 - 0.6	3 - 5
Frozen peat	0.35 - 0.70	0.8 - 2.1	25 - 28
Sphagnum (unfrozen)	0.23 - 0.46	0.1 - 0.3	3 - 5
Wet sand	0.23 - 0.70	0.8 - 2.5	13 - 32
Wet clay	0.35 - 0.46	0.8 - 2.1	19 - 50

It is seen that the heat conductivity is very low for sphagnum moss. The heat diffusivity, which might also be termed the temperature conductivity, is a measure of how fast a warming up or cooling off takes place. It is seen that the unfrozen peat warms up very slowly. The heat diffusivity is defined as the ratio between the heat conductivity and the volumetric heat capacity (both in the same units).

At Ås, Norway, a sphagnum moss layer of 3 cm thickness was put on top of a loam soil. Fig. 11 shows soil temperature curves for uncovered and covered soil. It is observed that the 3 cm of sphagnum moss was an excellent insulation medium. DeVRIES (1963) mentions that the depth of penetration of the diurnal and annual temperature wave in peat soils may be about one-third of that of a mineral soil.

*Soil temperature, 10 cm depth  
1968*

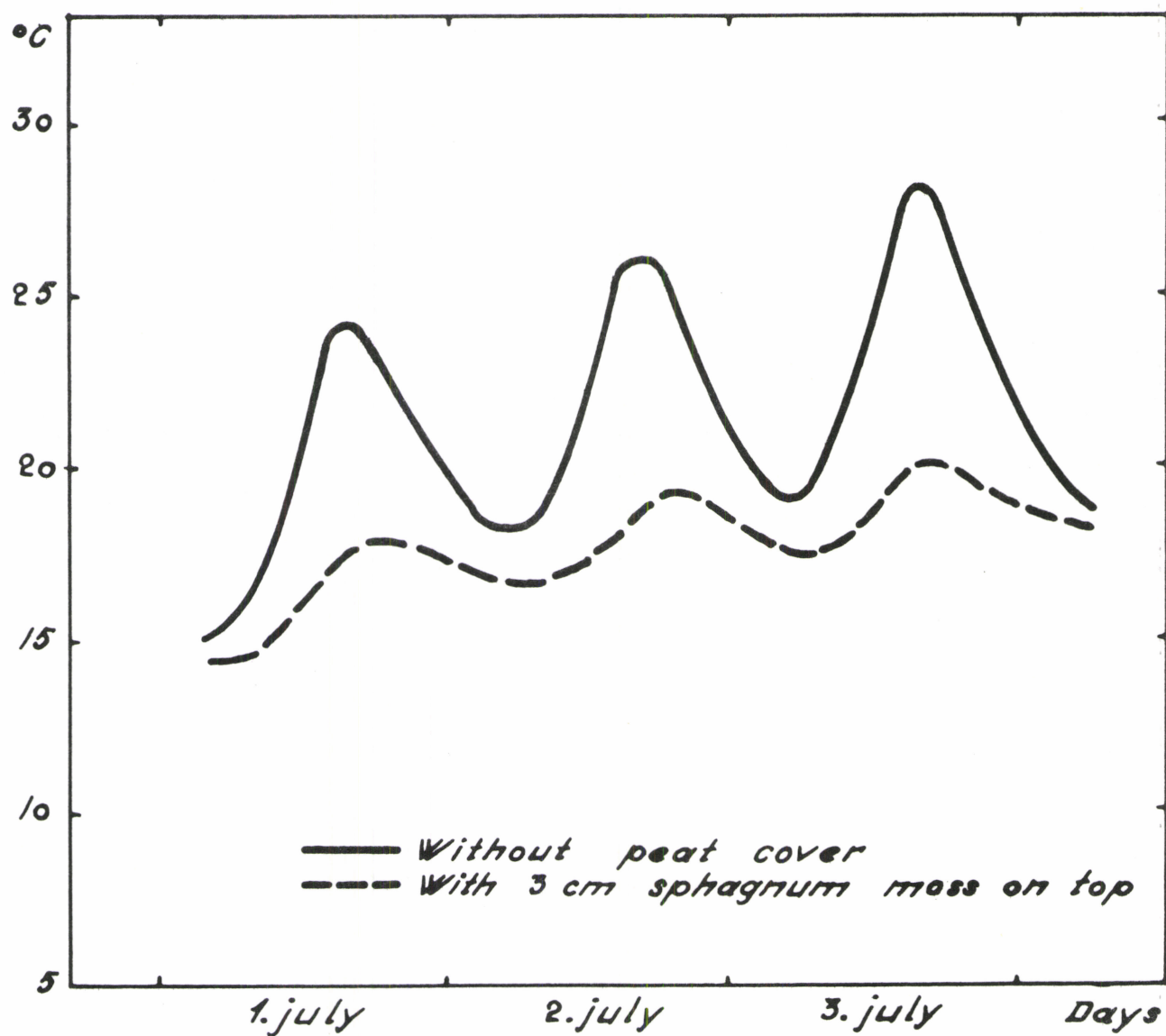


Fig. 11. Effect on soil temperature of a 3 cm layer of sphagnum moss on top of a loam soil.

The latent heat of fusion is an important property with regard to the depth of freezing and thawing. In a peat soil it may be of the order of 45-90 kWh/m<sup>3</sup> depending on the moisture content, while in a wet sand it may range from 15 to 30 kWh/m<sup>3</sup> and in a wet clay from 20 to 35 kWh/m<sup>3</sup> (probably even up to 40 kWh/m<sup>3</sup>).

According to MacFARLANE and WILLIAMS (1974) the freezing depth may be calculated from the formula

$$z = b((K/L)F)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$z$  = depth of freezing or thawing

$b$  = coefficient depending on soil properties

$K$  = heat conductivity of the soil

$F$  = freezing-index in degree-days

$L$  = latent heat of fusion

In many peat soils in inland areas in Norway timber traffic is possible only after precompaction of snow tracks to increase the heat loss through the snow layer, otherwise the peat may not freeze deep enough to carry heavy timber loads.

Concerning air temperature over peatland WILLIAMS (1968), found that the drainage of cold air into depressions where peat has formed, as well as the thermal properties of peats, were the main factors causing lower air temperature over peatland as compared to adjoining mineral terrain.

#### Influence of bulk density on measured chemical properties

Since most chemical analyses are carried out on a dry matter weight base many people tend to overestimate the nutrient content of peats from analytical values. In the following table an attempt has been made to calculate on a hectare base the cation exchange capacity for a peat and a clay to 1 m depth.

Parametre	Clay	Peat
Cation exchange capacity, 0-0.2 m	30 meq/100g	120 meq/100g
" " " , 0.2-1.0 m	10 " "	120 "
Bulk density, 0-0.2 m	1.3 tons/m <sup>3</sup>	80 kg/m <sup>3</sup>
" " , 0.2-1.0 m	1.7 " "	100 "
Dry matter per hectare, 0-0.2 m	2600 tons	160 tons
" " " " , 0.2-1.0 m	13600 "	800 "
Cation exchange capacity per hectare , 0-0.2 m	780 keq	190 keq
" " " " , 0.2-1.0 m	1360 "	960 "
CEC per hectare metre	<u>2140 keq</u>	<u>1150 keq</u>

This calculation shows that the storage capacity for cations is almost twice as high in the clay soil as compared to the peat soil under the conditions given.

#### The importance of the physical properties of peats for cultivated peatlands

As mentioned under the chapter on the pore system of peat soils, the little humified sphagnum peats have water and air relations which are suitable for shallow growth media. It might be added that in growth houses their special thermal properties are compensated by the internal growth house climate. Their lack of soil strength, which has a bearing on the anchorage of plants, is easily compensated by special supporting arrangements. Thus, in pot and basin cultivation under controlled climate, the physical properties of little humified sphagnum peats represent no serious limitations.

The highly humified peat materials which may be considered similar to a colloidal porridge when wet and an arrangement of more or less airfree blocks between cracks after some drying, are not suitable for cultivation in shallow pots or basins. In the field the little humified sphagnum peats often are too loose, soft, frost-risky, or cold for grain production. They may be more suitable for specialized vegetable production, e.g. carrots, where high quality stolons or roots may be produced



in a loose, homogenous root bed. Most of all, however, they are suited for grass production since the grass root mat may enforce the bearing capacity of the top layer. This top layer may be compared to a floating carpet which works as a carrying mattress as long as it is not broken by excessive sinkage caused by overloading or by excessive slip. On the machinery side low ground pressure is important for an adapted management.

For all kinds of agricultural land use drainage is necessary. The settlement after drainage is dependent on the depth of the peat and on the drainage depth. An increase in drainage depth increases the consolidating pressure on the underlying layers as the additional load caused by the loss of buoyancy must be carried by the layers below the ground water level. It is therefore important to plan the drainage system in such a way that the main drain is sited along the deepest part of the peat bog, that the lateral drains will have their highest settlement towards their outlets. Very deep laterals might result in a very fast and uneven settlement.

In moderately deep peats soil mixing as well as surface application of mineral soil may the bearing capacity, reduce the frost risk, and lengthen the growth season. This results in a wider land use spectrum.

The moderately humified peats are in several ways more suitable for cultivation than the least humified peats. The latter may insulate against heat transfer, and at the same time they may become excessively dry in the uppermost soil layer. The moderately humified peats may transfer heat more easily and do not dry up so completely in the uppermost soil layer under prolonged drought conditions. The bulk density and the content of nutrients generally are higher in the moderately humified peats as compared to the least humified ones. On the other hand, the nitrification may proceed faster in the former soils, and in grain cultivation this may induce excessive straw length and lodging. On the whole, however, the moderately humified peats are better suited for arable crops like cereals than the true fibric ones.

The highly humified peats, which are very common in coastal areas of Norway, are very difficult to manage, mainly due to their low infiltration capacity and hydraulic conductivity. Ridging and other forms of land shaping, accompanied by surface drainage are a must on these soils, and forage grasses are about the only crops possible to cultivate. Their pore size distribution is characterized by low percentage of drainable pores, thus aeration is a problem. The water content at wilting, measured as the 15 bar extraction content, is very high. It has been observed that after some years of cultivation it may reach the same magnitude as in heavy clays. If dried out they crack extensively, and remoistening may be a problem. This effect may be utilized to increase the hydraulic conductivity of back-fill in tile drains. Freezing has partly the same effect as strong summer drying. In some winters without snow cover the freezing-drying effect on cultivated, ploughed peatland may induce wind erosion. On sloping land with highly humified peats (along the coast), even water erosion may be a problem. Up till now the problem of cultivating the coastal, highly humified peats has not been solved in Norway. These soils must be considered a resource for a future kind of technology. A special use of peats is as soil amendment on coarse sandy soils or on clays. The least decomposed peats are not the best suited in the field, as the organic matter mass is very low on a volume base. Transport distance is a limiting factor. For short distances this method has been tried in practice, and with success on the sandy soils.

For all kinds of peatland the agricultural technology should be adapted to the special physical properties of the peat. Low ground pressure of the machinery, and a well designed and adapted drainage system, as well as suitable crops are important management factors.

## Summary

Peat soils have some physical properties in common, that are different from mineral soils. These are: High porosity (95 - 85 volume per cent), low shear strength and bearing capacity, high specific heat capacity under wet and moist field conditions, and low thermal conductivity when dry.

Whitin the peat soils there is a great variability of some physical characteristics:

1. The little humified sphagnum moss peats have physical properties suitable for shallow growth media, i.e. growth media with small depths to the groundwater level. The volume of pores drained between full saturation and 5 - 20 cm drainage suction (matric suction) is large. Further, there is a large volume of easily extractable water, e.g. water drained between 10 cm and 100 cm matric suctions. This volume is larger than in tree bark products, and much larger than in clay or silt soils.

The hydraulic conductivity is very high, which implies that the infiltration and drainage processes are fast.

2. Very little humified sphagnum peats are not too well suited for field cultivation under normal drainage conditions (appr. 1 m drainage depth) on account of low soil strength, fast and uneven subsidence, low thermal conductivity, drying risks under prolonged drought conditions, and frost risks due to the general topographical position as well as the inherent thermal properties. These peats are best suited for grassland or vegetable production.

3. The highly humified peats have a lower volume of pores than the sphagnum peats. The pore size distribution is characterized by a small volume of drainable pores in the low suction range, while in the higher suction ranges the size distribution is rather even. This property makes them suitable for land improvement, e.g. on coarse sandy or on heavy clayey soils. After cultivation the water volume at wilting, measured as the 15 bar extraction content, may increase to the same level as in heavy clays. In Norway this has been observed on peats in

the coastal area of Northern Norway. The hydraulic conductivity may be very low, e.g. for subsoils worked or puddled in the wet condition, near zero. Surface drainage is a safer drainage method than tile drainage, as run-off is very high. The coastal peat soils are not suited for shallow growth media, but might yield well under grassland, if the drainage problem could be solved. Their bearing capacity is greatly improved under permanent grassland. If dried out, they crack, and remoistening may be difficult. Fill material in drains therefore should be exposed to dry conditions before the drains are filled. At present the agricultural technology is not well adapted to the cultivation of these soils.

4. The moderately humified peat soils are the best suited for agricultural production. Possible improvements are surface application of mineral soil and mixing of peat material with mineral subsoil.

### References

- BADEN, W. und R. EGGELSMANN, 1963. Zur Durchlässigkeit der Moorböden. Zeitschr. für Kulturtechnik und Flurbereinigung 4: 226-254.
- BOELTER, D. H., 1969. Physical properties of peats as related to degree of composition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33: 606-609.
- BOELTER, D. H., 1974. The hydrologic characteristics of undrained organic soils in the Lake States. In Histosols: Their characteristics, classification, and use. No. 6 SSSA Special Publication Series. Soil Sci. Soc. of America, Inc., publ. Madison, Wisc. USA: 33-46.
- DeVRIES, D. A., 1963. Thermal properties of soils. In W. R. van Wijk (ed.) Physics of plant environment. John Wiley & Sons, N.Y. :210-235.
- HANRAHAN, E. T., 1954. An investigation of some physical properties of peats. Geotechnique 4: 108-123.

- HESTETUN, N., 1977. Vassleingsevne og fasthet. Forsøk i blandingsjord av mineralmateriale og torv. Jord og Myr 1(3): 54-62.
- HOVDE, A., 1978. Dyrkingsproblem på tett myr (brenntorvmyr). Stensil. Det norske jord- og myrselskap, Molde. 14 p.
- JENSSEN, D. E., 1976. Geologiens virkning på myrdannelse. Bæreevne på myr. Hovedoppgave Institutt for jordkultur, NLH, 117 p.
- KIRKHAM, D. and W. L. POWERS, 1972. Advanced Soil Physics. Chapter 9. Gaseous diffusion in soils. Wiley Interscience: 428-461.
- LOTSBERG, J., 1976. Faktorar som verkar på køyreskaden i eng. Hovedoppgave Norges landbrukshøgskole. 50 p.
- MacFARLANE, I. C. and P. G. WILLIAMS, 1978. Some engineering aspects of peat soils. In Histosols: Their characteristics, classification, and use. No. 6 SSSA Special Publication Series. Soil Sci. Soc. of America, Inc., publ. Madison, Wisc., USA: 79-93.
- NILSSEN, O. E., 1978. Fysiske og kjemiske forhold i myr. Undersøkelser i myr på Stonglandet i Tranøy kommune, Troms, med vekt på udyrka myr. Hovedoppgave Institutt for jordkultur, NLH, 109 s. + vedlegg.
- PENMAN, H. L., 1940. Gas and vapour movements in the soil: I. The diffusion of vapours through porous solids. J. Agr. Sci. 30: 437-462, and II. The diffusion of carbon dioxide through porous solids. J. Agr. Sci. 30: 570-581.
- SEGEBERG, H., 1957. Bodenphysikalische Untersuchungen über den Wasserhaushalt einige Sandmischkulturen. Z. f. Pflernähr. Düng. Bodenkunde 79: 50-62.
- SOLBRAA, K. og A. NJØS, 1978. Dyrkingsmedier av bark og barkblandinger. Undersøkelser av fysiske forhold. Jord og Myr 2(3): 53-64.
- von POST, L., 1921. Instruktion för kvantitativa torvmarkrekognocering. Sveriges Geol. Undersökning. 1921.

- WESSELING, J. and W. R. van WIJK, 1957. Soil physical conditions in relation to drain depth. In: LUTHIN, J. N. ed. Drainage of agricultural land. The Amer. Soc. of Agronomy. Vol VII of AGRONOMY: 461-504.
- WILLIAMS, G. P., 1968. The thermal regime of a sphagnum peat bog. Int. Peat Congr., Proc. 3rd (Quebec): 195-200.

Professor Arnor Njøs  
Institutt for jordkultur  
NLH

BAKKEPLANERING  
JORDFORBEDRING OG JORDARBEIDING

Bakkeplanering av leirjord startet tidlig i 1950-årene i områdene på Romerike og ved Oslofjorden. De første årene ble det brukt små bulldosere. Planeringen var en ren høvling ("holesletting", "holedøtting"). De høgere delene av terrenget ble høvlet av og fylt i daler og andre søkk. Det gamle matjordlaget ble ofte liggende nederst. Mange av de gamle planeringsarbeidene er synlige 25 år etter, ved at korn og andre åkervekster har vanskelig for å spire om våren. De planerte delene av marka blir grønne når resten av åkeren er gulmoden. Da det kom i bruk større maskiner på 30-40 tonn utover i 60-årene, ble det mer vanlig å tømme daler og søkk for matjord - skyve all matjord sammen i ranker - planere ferdig underlaget - og til slutt legge på matjorda. Kvaliteten av planeringsarbeidene ble på denne måten langt bedre.

Da tilskottsordningen for planering kom i 1971, fikk vi statistikk for årlig utført arbeid. Tabell 1 viser ferdigplanert areal.

Tabell 1. Areal av planert jord i perioden 1971-1979.

År	Areal, dekar
1971	6 577
1972	24 873
1973	35 576
1974	30 008
1975	26 568
1976	19 737
1977	18 267
1978	18 101
1979	14 514
Sum	194 221

Tabellen viser at det var en topp rundt 1973. I det senere har det årlige arealet gått ned. Samtidig har det blitt mer planering i Trøndelagsfylkene og mindre på Østlandet. Det arealet som ble planert i tiden 1950-1970 er usikkert, men et grovt anslag er ca 50 000-60 000 dekar. I alt skulle det da være planert ca 250 000 dekar. Svært mye av dette arealet er gamle beiter.

## 1. Jordforbedring

1.1 Virkning av å ta vare på matjord og av skjæring - fylling. De første forsøkene som tok sikte på å undersøke virkningen av å ta vare på den gamle matjorda, kom igang rundt 1960. I tabell 2 er vist avlingsresultater fra et forsøk på Folvell, Nes R.

Tabell 2. Avlinger, kg korn pr dekar, etter bakkeplanering på Folvell, Nes R.

Behandling 1959	Kg pr dekar			Middel
	1959	1960	1961	
Uten matjord	90	246	280	205
Med matjord	249	309	376	311

Det var et entydig og klart positivt utslag på kornavlingene for matjord. Et annet forsøk på Haga, Eidsberg viste lignende resultater i korn. I tabell 3 er vist resultater fra ett høsttear i korn og ett år i kløver.

Tabell 3. Avlinger, kg pr dekar, etter ulike behandlinger ved planering på Haga, Eidsberg.

Behandling	Kg pr dekar	
	Havre, 1961	Kløver, 1964
Skjæring	250	780
Fylling	360	790
Uten matjord	200	810
Med matjord	410	760

Tabellen viser at i korn var det større avling på fylling enn på skjæring (hard leirbakke), og stor meravling der det var tatt vare på matjorda. I kløver derimot var det ingen statistisk sikre forskjeller mellom behandlinger. Dette skyldes både at kløveren er etablert ved den tida forsommertørken setter inn, og at kløver har kraftig pålerot.

I et langvarig planeringsforsøk på Nokken, Nes R. har det vært målinger fra 1961-1979. Tabell 4 viser noen av resultatene.



Tabell 4. Virkning på avlinger av matjord i et langvarig forsøk på Nokken, Nes R. I 1963 kløvereng, ellers korn. Stiv leire.

Behandling 1961	Kg pr dekar			F e pr dekar		1000-kornvekt, g
	Havre 1961	Bygg 1962	Kløver 1963	1965-70	1971-79	
0 cm matjord	88	191	549	140	259	32,2
7,5 " "	363	270	415	212	311	34,0
15,0" "	478	320	376	260	349	34,7

N-gjødslingen var 4,6 kg N pr dekar i 1961-1970. I perioden 1971-1979 var gjødslingen 9,3 kg N pr dekar. Resultatene er entydige, nemlig klare meravlinger for de to matjordmengdene. Det er interessant at kløveravlingen viste et omvendt variasjonsmønster i forhold til kornavlingene. I ett av årene i siste periode, da det var dyrket høstkleite, var forskjellen mellom matjordbehandlingene små. Dette stemmer også med praktiske erfaringer, som viser at eng og høstkleite greier seg bra på planert jord. For korn ser vi at i perioden 1971-1979 har meravlingene for 7,5 cm og 15 cm matjord vært ca 50 kg og 90 kg korn pr dekar.

Når det gjelder virkningene på jorda, viser tallene fra Haga, i tabell,5 at moldinnhold, pH og P-AL var påvirket av matjordbehandlingene.

Tabell 5. Virkning av matjordbehandling på jordanalyser i forsøket på Haga (1965).

Behandling	Mold %	Leir %	pH	P-AL mg/100 g
Uten matjord	0,5	32	6,8	9,5
Med "	3,7	22	6,0	4,3

Høge P-AL-tall i dype lag i leirene er ikke noe bevis for mye tilgjengelig fosfor. Som nevnt av Prestvik (1974) vil ekstraksjon med Al-løsning, som er bufret ved pH 3,75, gi store analysetall ved høy pH i jorda. I tabell 6 er vist noen kjemiske jordanalyser fra planeringsfeltet på Nokken.

Tabell 6. Kjemiske jordanalyser for planeringsfeltet på Nokken. Middel av 1976-1977. Mg-AL og Ca-AL 1977.

Matjord 1961	Gl.tap %	C %	N %	C/N	pH	P-AL mg/100 g	K-AL mg/100 g	Mg-AL mg/100 g	Ca-AL mg/100 g
0 cm	3,8	0,5	0,13	4	7,4	16	15	51	200
7,5 "	4,2	0,9	0,15	6	7,2	12	15	45	200
15,0 "	4,9	1,3	0,17	8	6,9	10	14	42	170

Hvis en bruker en faktor på 1,7 for overgang fra prosent C til moldinnhold, finner en at moldinnholdet var 0,8-1,5-2,2 prosent for de tre matjordsbehandlingene. En analyse av glødetap m m i 1966 viste ellers en forskjell i glødetap mellom 0 og 15 cm matjord som var 1,5 prosent mot 1,1 prosent i 1976-1977. Hvor mye av nedgangen som skyldes økning i pløyedybden, er vanskelig å si. Også P-AL-tallene var høyere i 1966. C/N-forholdet er svært lågt i planert leire. Dette er normalt i dypere lag i leirene på Sør-Østlandet, noe som går fram av mange profiler gravd av forfatteren. Men dette låge C/N-forholdet kan ikke tas som tegn på N-frigjøring fra det organiske materialet. En viss del av nitrogenet kan være låst inne i hullene i tetraederlagene i leirmineralene, da som  $\text{NH}_4^+$ -ioner.

## 1.2 Virkning av torv

Det har vært tre forsøk med torvtilførsel på planert leire i Sør-Trøndelag og ett i Akershus. I tabell 7 er vist avlingsvirkningen av tilført torv til tre forsøksfelter i Trondheim og Melhus.

Tabell 7. Virkning av tilført torv på avlinger i tre forsøk i Sør-Trøndelag. Jordart: Siltig mellomleire.

Behandling	F e pr dekar			Middel
	Hangervoll 7 år	Vollum 8 år	Lerli 8 år	
0 cm torv ved anlegg	134	402	291	282
10 " " "	132	409	296	285
20 " " "	145	393	285	286

I middel er det ingen statistisk sikre forskjeller.

På Hangervoll var det 5 år med korn og to med rybs, på Vollum 4 år med korn og 4 år med eng og på Lerli 8 år med korn. På Hangervoll var ingen av avlingsforskjellene i enkelt-år signifikante, bortsett fra i 1979 (det eneste året med bygg), der avlingsøkningen

for 20 cm torv såvidt var større enn LSD 5%. På Lerli var det statistisk sikker avlingsøkning for torv i anleggsåret (bygg), da mesteparten av torva lå på overflaten. Utslaget var størst for 10 cm torv. Det var ikke avlingsøkning noen av de senere årene. På Lerli var det bygg som vekst i 7 av de 8 årene. På Vollum var det avlingsnedgang for torv i anleggsåret i havre, ellers ingen forskjeller.

Når det gjelder kjemiske jordanalyser, er Lerli og Vollum regnet sammen, fordi de var nokså like. På begge disse gårdene var det nemlig tatt vare på noe av matjorda ved planering. Prosent C var henholdsvis 1,6-1,6-0,4 for Lerli-Vollum-Hangervoll i jorda etter planering. Dette svarer til et moldinnhold rundt 2,7%-2,7%-0,7% for de tre forsøksstedene. I tabell 8 er vist noen kjemiske jordanalyser i middel for Lerli og Vollum i 1976, 5 år etter start.

Tabell 8. Kjemiske jordanalyser for forsøk med torv på planert leire på Lerli og Vollum. Middel for de to forsøkene i 1976.

Torv i 1971	C %	N %	C/N	pH	P-AL mg/100 g	K-AL mg/100 g	Glødetap %
0 cm	1,6	0,13	12	7,1	7,5	16	4,1
10 "	3,3	0,18	18	6,8	6,4	16	6,1
20 "	4,3	0,20	22	6,6	5,8	16	8,0

Økningen i glødetap ved tilførsel av torv svarte til ca 5 tonn organisk materiale pr dekar og 4,8 tonn organisk materiale pr dekar for 0-10 cm torv og 10-20 cm torv. På Lerli ble det tatt prøver både i 1976 og 1979. Tabell 9 viser utslag i glødetap pr 10 cm tilført torv.

Tabell 9. Utslag i glødetap for stigende torvmengder i 1976 og 1979 på Lerli.

Økning i torvmengde	Glødetap, prosent		
	1976	1979	Nedgang
0-10 cm torv	+2,5	+1,6	0,9
10-20 cm torv	+2,4	+1,0	1,4

Differensene i glødetap bør kunne brukes som et direkte mål for organisk materiale i jorda. Det er tydelig at restmengden i jorda minket fra 1976 til 1979.



Nedgangen for de første 10 cm torv tilsvarende ca 2,3 tonn organisk materiale og for de neste 10 cm tilført torv ca 3,5 tonn organisk materiale pr dekar. Det er trolig at nedgangen fortsetter til det blir dannet mere stabile humusforbindelser. Det foreligger ingen pålitelige analyser for tørrstoff i torv ved anlegg, men de sannsynlige verdiene er ca 15 og 30 tonn tørrstoff.

På Kabberud, Nannestad ble det anlagt et forsøksfelt med torv i 1971. I tabell 10 er vist avlingsresultater i forsøket.

Tabell 10. Virkning av tilført torv på avlinger i forsøk på Kabberud, Nannestad. Jordart: Stiv leire.

Behandling	F e pr dekar				Middel
	Raigras 1971	Korn 1972	Eng 1973-77	Bygg 1978	
0 cm torv	101	198	270	361	252
3 " "	188	197	272	361	264
6 " "	207	156	269	363	259

Torven som var brukt, hadde et askeinnhold på 2,2%, pH 3,8, P-AL 11, K-AL 48, K-HNO<sub>3</sub> 73, Mg-AL 17, Ca-AL 25, N 0,65%, Cu 0,8 mg/100 g.

Det var statistisk sikker avlingsøkning for torv i anleggsåret, mest sannsynlig på grunn av at mesteparten av torva da lå på toppen og beskyttet mot fordamping. I kornårene var det en viss økning i 1000-kornvekt med stigende torvmengder. I tabell 11 er vist noen jordanalyser for feltet på Kabberud i 1977.

Tabell 11. Kjemiske jordanalyser 1977 for forsøk med torv på planert leire, Kabberud i Nannestad.

Torv 1971	C %	N %	C/N	pH	P-AL mg/100g	K-AL mg/100g	Mg-AL mg/100g	Ca-AL mg/100g
0 cm	0,5	0,08	6	8,2	5,8	16	31	520
3 "	0,7	0,08	9	7,9	3,6	17	31	600
6 "	1,1	0,09	12	8,1	4,2	17	30	600

Hvis en regner på tilførte mengder organisk materiale i torv, var det i 1977 for 3 cm torv tilbake ca 20 prosent og for 6 cm torv ca 38 prosent tilbake av det tilførte - 6 år etter tilførsel. Sannsynligvis kan en regne midlet av disse to tallene, ca 25-30 prosent som et realistisk middel for hva som var til-

bake. Som vanlig for moldfattig leire er C/N-forholdet lite, men det er likevel en stigning med økende torvmengde.

Virkningen på aggregatstabiliteten er vist i tabell 12 for 1977, etter 4 år i eng.

Tabell 12. Aggregatstabilitet for torvbehandling i forsøk på Kabberud, Nannestad i 0-5 cm og 5-10 cm dybde.

Torv 1971	Aggregatstabilitet, 2-0,6 mm, %	
	0-5 cm	5-10 cm
0 cm	43	12
3 "	47	27
6 "	60	59

Strukturstabiliteten i 0-5 cm dybde er sterkt påvirket av 4 år med eng. Det er neppe noen tvil om at eng er den sikreste måten til å bygge opp aggregeringen på leirjord. Men når det gjelder 5-10 cm dybde, er det ingen tvil om at torv har hatt en aggregeringsvirkning, særlig i største mengde. Til sammenligning var aggregatstabiliteten i en skjæring i uplanert leire 82 prosent i 0-20 cm, 19 prosent i 20-30 cm og 27 prosent i 30-60 cm. Det dypeste laget var en svakt utviklet B-horisont.

### 1.3 Virkning av kloakkslam

Kloakkslam har i motsetning til torv et C/N-forhold som er omtrent som i husdyrgjødsel, altså ca 10-15, mens det er minst 40 i torv, og ca 80 i halm. Kloakkslam er prøvd i en rekke forsøk. Vi skal først se på resultatene fra et planeringsfelt på Gåvim i Ås, anlagt 1971 med slam fra et renseanlegg i Ås. Slammet var ikke påvirket av industri. Innholdet var 39% tørrstoff 24% aske, 0,63% total-N, 0,51% K, 0,31% Ca, 0,11% Mg og 0,17% S, med pH 6,6. I tabell 13 er vist kornavlinger (havre) i perioden 1971-73. Det var signifikant avlingsøkning for slam.

Tabell 13. Avling, kg havre pr dekar, i perioden 1971-1973 i forsøk på planert leire på Gåvim i Ås. Siltig mellomleire.

Behandling 1971	Kg korn pr dekar
0 tonn slamtørrstoff pr dekar	278
15 " " " "	391
30 " " " "	454

I dette forsøket var det brukt usedvanlig store mengder slam. Første året er det derfor en mulighet for at mengden av tilført vann i slammet kan ha hatt betydning. Slammet ga en viss økning i vannstabiliteten for aggregatene i jorda, og det var en økning i mengden av nyttbart vann for planteveksten, med ca 4 mm pr dm dybde for største mengde slam.

I tabell 14 er vist noen kjemiske jordanalyser fra feltet på Gåvim.

Tabell 14. Kjemiske jordanalyser for forsøksfeltet på Gåvim i Ås. 1972.

Slamtørrstoff 1971	Glødetap "	pH	P-AL mg/100 g	K-AL mg/100 g
0 cm	5,7	6,9	5,3	14
15 "	8,2	6,8	10,3	13
30	11,2	6,8	20,3	16

Økningen i glødetap tilsvarte omtrent halvparten av de tilførte slammengder (42 og 50 prosent for minste og største mengde slam), ett år etter tilførsel. I dette forsøket er det ellers en økning i P-AL med stigende mengder slam, noe som må skyldes tilført P i slammet.

Et forsøk som ble anlagt på Ramstad i Nittedal ga store meravlinger for septikslam med pH 6,1, tørrstoff 24%, total-N 0,50%, K 0,027%, Ca 0,33%, Mg 0,048% og S 0,14%. Virkning på avling og to fysiske jordegenskaper er vist i tabell 15.

Tabell 15. Avlinger 1973-1978, aggregatstabilitet 1973-1977 og fysisk nyttbart vann 1973 i et forsøk på Ramstad i Nittedal. Stiv leire.

Behandling 1972	Korn f e pr dekar	Aggregat- stabilitet %	Nyttbart vann vol%
0 tonn slamtørrstoff pr dekar	105	9	11
5 " " " "	148	13	13
10 " " " "	202	16	15

Nyttbart vann var målt som differens i vanninnhold 0,1-15 bar. Det var statistisk sikre meravlinger for slam alle årene. I 1975, et år med svært små avlinger, var bare forskjellen mellom



0 og 10 tonn slamtørrstoff signifikant. Det var en markert økning i 1000-kornvekt med stigende slammengder, bortsett fra 1974. Som tabell 15 viser var det en klar økning i aggregatstabilitet av aggregater (6-2 mm) med stigende slammengde. Det kan ellers nevnes at aggregatstabiliteten økte med årene. I gammel kulturland i nærheten av feltet var aggregatstabiliteten 75 prosent og i skogsjord ved siden av feltet var den 65% i 0-20 cm dybde, 27% i 20-45 cm dybde og 37% i 45-70 cm dybde. Et lignende profil var observert på Kabberud i Nannestad. Det virker i det hele som om leirjorda på Romerike, kanskje særlig i de vestlige delene, har liten aggregatstabilitet under matjordlaget og på større dybder, mens det er en svakt utviklet B-horisont eller BC-horisont med litt større stabilitet rundt ca 40-70 cm dybde.

Kationeombyttingskapasiteten i den nyplanerte jorda på Ramstad var 20 me/100 g med 100% basemetning og med  $Ca^{2+}$  som dominerende kation (17 me/100 g). De kjemiske jordanalysene er gitt for 1977 i tabell 16.

Tabell 16. Kjemiske jordanalyser for forsøksfeltet på Ramstad i Nittedal. 1977 (Zn i 1978).

Slamtørr- stoff 1972	C %	N %	C/N	pH	P-AL mg/100 g	K-AL mg/100 g	Ca-AL mg/100 g	Zn mg/kg
0 t pr daa	0,4	0,08	5	8,2	6,9	20	578	13
5 " " "	0,7	0,11	6	8,2	7,1	20	520	15
10 " " "	1,0	0,13	8	8,2	6,4	22	550	17

Hvis en regner om til % organisk materiale ved å multiplisere C% med 1,7, viser det seg at ca 25 prosent av det opprinnelig tilførte organiske materialet var i behold etter 5 år. C/N-forholdet er lågt som vanlig i planert jord, uten at det kan tas som inntekt for N-frigjøring. Det ble analysert for Zn, fordi en kan ha en mistanke om Zn-mangel på jord med så høy pH.

På et forsøksfelt i Røyken med svært store skilnader i jordart innen feltet (fra nesten ren silt til siltig mellomleire) var det i middel avlingsøkning for økende slammengder. Aggregatstabiliteten var stor uten slam på grunn av at det var tatt vare på all matjorda, men det var likevel en økning i aggregatstabilitet med slam. Et tilsvarende felt på siltig mellomleire i Rakkestad,

hvor det også var høgt moldinnhold, viste en lignende økning i aggregatstabiliteten med økte slammengder. Det var også et forsøksfelt på stiv leire i Trøgstad, men på grunn av stor variasjon i kornstørrelsefordeling og moldinnhold innen feltet, måtte det gis opp etter et par år.

#### 1.4 Virkning av bark

Det ble anlagt et forsøksfelt med bark på Skattebøl i Rakkestad i 1975. Barken inneholdt 94 prosent organisk materiale, pH var 4,7, P-AL 36, innholdet av ombyttbare kationer i me/100 g var H 45, K 13, Ca 13, Mg 10 og kationeombyttingskapasiteten 80 me/100 g. Avlingstallene er gitt i tabell 17.

Tabell 17. Avlinger, f e pr dekar, i forsøk med bark på planert stiv leire på Skattebøl. Middel 1976-79.

<u>Bark i 1975</u>	<u>F e pr dekar 1976-79</u>
0 cm	358
3 "	328
6 "	308

Jorda ble vannet i dette forsøket. Det var høstkveite to av årene og havre i to av årene. Det var avlingsnedgang med økende barkmengde hvert år, men bare i 1978 var forskjellen mellom 0 og 6 cm bark større enn LSD 5%. Denne jorda hadde følgende analysetall ved anlegg av feltet: C 0,8%, N 0,09%, pH 7,6, P-AL 12, K-AL 40, Mg-AL 66. Hvis vi ser på glødetapet i 1979, var økningen i prosent C for 6 cm bark i forhold til 0 cm ca 0,8%, noe som skulle svare til at økningen i organisk materiale var noe slikt som 1,4%. Regner en at det var tilført ca 12 tonn bark pr dekar ved største barkmengde betyr dette at omtrent 30 prosent av barkmengden var tilbake i jorda etter 4 år. I alle fall må en si at resultatet av barktilførselen har vært heller nedslående. Noe annet er i og for seg ikke å vente for et materiale som har høgt C/N-forhold, ca 120, samtidig som det er svært lite N i jorda fra før. Det er mulig at P-gjødslingen burde ha vært større.

#### 1.5 Virkning av N-gjødsling

I de aller fleste forsøkene med jordforbedring på planert jord har det vært med N-gjødsling som en av forsøksfaktorene. Hvis



vi tar for oss forsøket på Nokken, Nes R., var N med som forsøksbehandling, men dessverre ikke faktorielt. I tabell 8 er tatt med resultatene for noen perioder. N1 er 4,6 kg N pr dekar fra 1961-1970 og 9,3 kg N pr dekar fra 1971-1979. N2 var i første periode 9,3 kg N og i siste periode 14,7 kg N pr dekar.

Tabell 18. Forsøksresultater for N-gjødsel på planert leire uten matjord på Nokken, Nes R. 1961-1979.

Behandling	F e pr dekar		
	1961-63	1965-70	1971-79
N1 - 0 cm matjord	168	140	259
N2 - 0 " "	209	245	339
N1 - 15 " "	302	260	349

Vi ser at det har vært svært store utslag for N-gjødsling. Vi ser også at fra og med 1965 har avlingene etter N2 på jord uten matjord vært omtrent like store som etter N1 på jord med 15 cm matjord. Forskjellen mellom N-mengder har hele tiden vært 4,6 kg N pr dekar.

I ett av forsøksårene, ble åkeren vannet til høstkveite. Dette året var det ca 100 kg større kornavling for N2 enn for N1 ved 15 cm matjord.

I torvforsøkene var det for det meste også signifikante meravlinger for stigende N-mengder. Tabell 19 viser resultater fra forsøkene i Sør-Trøndelag.

Tabell 19. Forsøksresultater med stigende N-mengder for de tre forsøkene med torv på planert leire i Sør-Trøndelag.

N pr dekar	F e pr dekar			
	Hangervoll 7 år	Vollum 8 år	Lerli 8 år	Middel
5 kg	97	356	224	231
10 "	143	415	305	294
15 "	172	434	342	322

Det var signifikante meravlinger for stigende N-gjødsling så å si alle år på alle tre feltene. Vi ser at i middel er forskjellen mellom 10 og 15 kg N pr dekar ca 30 f e. Hvis vi regner 11 MJ i energiverdi pr f e og 65 MJ i energikostnader pr kg N så er utnyttingsgraden for N ca 1 dvs det blir produsert omtrent like mye energi som det blir forbrukt. Forskjellen mellom 5 og

10 kg N pr dekar gir en energiutnyttingsgrad på ca 2. For feltet på Kabberud, Nannestad var meravlingene ca 70 f e og 35 f e pr dekar for 10 og 15 kg N, omtrent som i Sør-Trøndelag.

I slamforsøkene var det noe mindre virkning av stigende N-gjødsling. På Gåvim, Ås, der det var brukt svært store slammengder, var det ikke signifikante meravlinger for stigende N-mengder, mens på Ramstad, Nittedal, var det signifikante meravlinger for økende N-mengder tre av seks år. Omtrent samme resultat var det på feltene Askestad i Røyken, Bodal i Rakkestad og Vestereng i Trøgstad. I tabell 20 er gitt resultatene for slamfeltene.

Tabell 20. Avlingsresultater for stigende N-mengder i slamforsøk. Antall høsteår i parentes.

N-gjødsel pr dekar	F e pr dekar				Mid- del
	Gåvim(3)	Ramstad(6)	Bodal(3)	Askestad(3)	
5 kg	348	126	369	275	249
10 "	385	162	397	317	284
15 "	380	167	394	340	290

I disse forsøkene var det svært klare meravlinger for slam. Det er vel nokså tydelig at N-mengden ikke alene har vært den begrensende vekstfaktoren i disse forsøkene. I slamforsøkene er det bare meravlingen for 10 kg N i forhold til 5 kg N pr dekar som kommer ut med en energiutnyttingsgrad over 1. I forsøket med bark på Skattebøl var det signifikant avlingsøkning for stigende N-mengder (5-10-15 kg N pr dekar) i middel for 4 år: 250 f e, 349 f e og 396 f e pr dekar, altså store meravlinger.

Når en ser på alle disse forsøkene, ville en kanskje ha ventet samspill mellom N og de organiske materialene som er brukt: torv, slam og bark. Det var imidlertid ikke tilfelle, noe som klart antyder at f eks mangel på vann kan ha vært en mer begrensende vekstfaktor.

#### 1.6 Virkning av kalk

Det går fram av alle de jordanalysene som er vist at pH har vært høg, for det meste i området pH 7 - pH 8. I slam-, torv- og barkforsøkene var kalk med som faktor. På Nokken, Nes R, var det i middel for 8 år en liten meravling på 16 f e pr dekar for 1000 kg

brent kalk pr dekar. Av torvforsøkene var det bare på Lerli i Sør-Trøndelag en tendens til meravling for kalk, nemlig 15 f e pr dekar for 500 kg brent kalk og 8 f e pr dekar for en økning i kalkmengde fra 500 til 1000 kg brent kalk pr dekar. Utslaget for kalk var signifikant selve anleggsåret, ellers ikke. I slamforsøkene var det stort sett ikke avlingsøkninger for kalk. I barkforsøket var det heller ikke meravlinger for kalk. Det var heller ikke samspill mellom kalk og N eller kalk og organiske jordforbedringsmidler.

#### 1.6 Virkning av halm, husdyrgjødsel m.m

Halm og andre jordforbedringsmidler på planert jord ble prøvd så tidlig som fra 1958 i to forsøk, ett på Gjeldstad i Våle og ett på Berger i Spydeberg. I tabell 21 er vist avlingsresultatene i middel for 1959-1961 for disse to feltene.

Tabell 21. Avlinger, kg bygg og havre pr dekar for to forsøk med jordforbedring på planert leire. Middel 1959-1961

Behandling	Kg pr dekar	
	Bygg	Havre
Ubehandlet	226	184
Tidligkløver årlig	254	193
Halm, 300 kg/daa innblandet årlig	250	204
" " " " på overflate årlig	265	198
Krillum, 15 kg/daa på overflate årlig	244	173
Kalksteinsmjøl, 600 kg/daa i jorda ved anlegg	227	191
" , 120 " " på overflate årlig	227	177
LSD 5%	40	26

I middel var de "biologiske" tiltakene signifikant bedre enn de "kjemiske". I bygget var det en spesielt gunstig virkning av halm på overflaten.

På Nokken, Nes R., der det var med en behandling med halm på overflaten, var det særlig i første år ganske store meravlinger for denne behandlingen. Tabell 22 viser resultatene.



Tabell 22. Avlinger etter behandling med halm på Nokken, Nes R. F e pr dekar.

Behandling	Havre 1961	Bygg 1962	Kløver 1963	Havre 1965
Ikke halm	178	273	187	379
300 kg halmhakk på overflaten etter såing	356	264	206	387

I anleggsåret var det et stort samspill N x halm:

Halmbehandling	Kg havre pr dekar 1961		
	Uten matjord		
	4,6 kg N	9,3 kg N	(N)
Uten halm	4	5	+1
Halm på overflaten	+167	+267	+101

Dette viser at utslaget for N-gjødsling var ubetydelig der det ikke var dekket med halm på overflaten etter såing. Årsaken er mindre fordamping og dermed bedre spiring etter halmdekking.

Husdyrgjødsel har vært prøvd i noen få forsøk rundt 1960 - dessverre i så små mengder som 4 tonn/dekar. I middel for 5 felthøstinger i havre var meravlingen 30 kg korn pr dekar. Sagflis har vært prøvd, uten å gi noen meravling.

### 1.7 Samlet vurdering

Det øverste laget av moldfattig, planert leirjord er et jordmateriale, men ikke noe egentlig jordsmonn. På skjæringene er det en massiv, på fyllingene en grovklumpet struktur. De enkelte aggregatene har lite porevolum og tette grenseflater. Vannlagringsevnen i slik jord kan være ganske stor, men den nyttbare vannlagringsevnen er beskjeden. Se Prestvik (1974). Hvis vi i tillegg skiller mellom fysisk nyttbar vannmengde og biologisk nyttbar vannmengde, er den siste minst. Den fysiske nyttbare vannmengden omfatter bl.a. vann i porer inne i store aggregater og massive blokker. Planterøttene vil stort sett ikke trenge inn i aggregatene, og i perioder med stort vannbehov, kan bare en mindre del av dette vannlaget komme til nytte. I områder med forsommertørke er derfor vannet en sterkt begrensende vekstfaktor.

I mange tilfelle er det for lite vann i spireperioden. Når leira er blitt kvit, er det nyttbare vannet allerede tapt ved fordamping. Hvis ikke såfrøet da ligger på en såle med fuktig jord, vil det ikke spire før neste regn. Flerårige planter (eng) og høstkorn vil ikke ha tilsvarende problemer i spireperioden. Problemene i spireperioden for vårsådd korn fortsetter ut i buskingsperioden. Det er ofte for lite vann til å oppnå skikkelig næringsopptak. Forsinket busking/etterrenning er svært vanlig. Infiltrasjonsevnen er liten, særlig på skjæringene, på grunn av ustabil jordstruktur og lite utviklet poresystem nedover i profilet. Vanlig matjord lagrer og fordeler nedbøren og forsinker fuktingen nedover slik at porene får tid til å fylles i alle lag. Infiltrasjon er en kapillær prosess. De store sprekkene er virksomme bare når det demmes opp vann på overflater. I sommertiden vil det lett bli overflateavrenning og erosjon etter intense regnvær, både fordi plantedekket er for tynt og fordi overflaten tetter seg. I virkeligheten vil slik jord sjelden bli fuktet opp til større dybde i vekstsesongen. Høst og vår har det lett for å bli stor erosjon, fordi vannledningsevnen under topplaget er svært liten.

Når det gjelder jordforbedringsmidler, har forsøkene ved Institutt for jordkultur vist at de kan deles inn i fire grupper

- 1) Matjord og kloakkslam
- 2) Torv og bark
- 3) Halm
- 4) Kalk

Gruppe 1) har som kjennetegn lågt C/N-forhold og stor evne til å stabilisere jordstrukturen. Husdyrgjødsel i store mengder kan tas med i denne gruppen. Det har vært store meravlinger og lang ettervirkningstid for matjord og slam. Gammel matjord er selvsagt den mest stabile humuskilden av disse to.

Gruppe 2) omfatter jordforbedringsmidler med stort C/N-forhold. Torv har hatt en viss positiv virkning på jordstrukturen i et forsøksfelt på Østlandet. Positive virkninger av torv på avlingene har vært sjeldne og har helst forekommet i anleggsåret når meste- parten av torva har ligget oppå jorda. Bark har redusert avlingene på leirjord.

Gruppe 3) halm, har også stort C/N-forhold. Halm kan brukes på to måter, innblandet og som overfaltetedekke. Halmdekking av overflaten etter såing har virket gunstig på spiring og avling av vårkorn.

Kalk, gitt som store mengder brent kalk, har gitt avlingsøkning i et par tilfelle, men i det store og hele har ikke kalking økt avlingen. Dette kunne en vente fordi denne jorda vanligvis har svært høg pH og en del fritt  $\text{CaCO}_3$ . Dessuten vil økt nitrifikasjon, som ofte følger med kalking, ikke finne sted i en så N-fattig jord.

Av vekster ser det ut til at eng og høstkorn har greidd seg bra. Av engvekstene er det sannsynligvis kløver og bladfaks som passer best.

Nitrogengjødsling har gitt store og signifikante utslag på planert leirjord. Dette skyldes bl.a. manglende N-frigjøring fra moldfattig jord. Det ble ikke påvist samspill mellom N og jordforbedringsmidlene.

Vanning, særlig tidlig vanning, vil ha stor betydning for å fremme spiring og næringsopptak. Grøfting av skjæringene er nødvendig for å få startet opp uttørking og oppsprekking i dybden.

## 2. Jordarbeiding

I meldingen vil det bli sagt svært lite om jordarbeiding, noe som skyldes mangel på forsøksmateriale. Det bør imidlertid gis noen få prinsipper for jordarbeiding:

Til vårkorn må en være så tidlig ute at ikke jorda er herdnet til. Generelt må jordarbeidinga på de moldfattige leirområdene utføres før den moldholdige og moldrike jorda har tørket opp.

Siden det er så lite organisk materiale i moldfattig, planert leirjord, bør jorda arbeides på en slik måte at moldinnholdet ikke tynnes ut ved dyp pløying. Plogfri jordarbeiding bør prøves på slik jord. De erfaringene som enkelte praktikere har gjort, tyder på at det er lønnsomt å konsentrere det organiske materialet nær overflaten. Ved selve planeringen kan det imidlertid være riktig å grubbe dypt på skjæringene, dersom de er tørre nok.



Tidlig såing kombinert med radmylding av gjødsel er en forutsetning for store avlinger av vårkorn. Når det gjelder jordarbeidingsredskap, er tung slodd og harv med smale tinder brukbare. Skålharver kan være aktuelle, men helst ved plogfri jordarbeiding hvor de brukes både vår og høst. Bortsett fra ekstremt tidlig såing er det nødvendig med en viss dybde og jamn dybde av det løslaget en skal så i. Er våronna blitt noe forsinket, er det sannsynlig at den moldfattige leirjorda er blitt svært hard, og det er da trolig tung slodd som har størst evne til å smuldre jorda. Under forhold med normal jordfuktighet (smuldringsområdet er svært smalt på moldfattig leirjord) bør sloddharv kunne brukes som eneste vårarbeidingsredskap.

Litteratur:

Prestvik, O. 1974. Bakkeplanering og vekstvilkår. Aktuelt fra Landbruksdepartementets opplysningstjeneste Nr. 4 - Bakkeplanering 1974.





# Nydyrking

Det er en rekke forhold vi må vurdere i samband med nydyrking, bl.a.:

- Hva koster nydyrking samfunnsøkonomisk og privatøkonomisk?
- Hva er bruksverdien for et areal før og etter nydyrking?
- Hvilke valg har brukeren når det gjelder vekster, vekstskifte og driftsform?
- Er driftsbygninger, teknisk utstyr og arbeidskraft fullt utnyttet?
- Hvilken virkning har nydyrking på jordbruksmiljø, sysselsetting og økonomi i bygda og distriktet?

## Forutsetninger for nydyrking

De økonomiske forutsetningene er todelte: Samfunnet ønsker billigst mulig mat, og at det produseres for dekning av behovet. Eksport er lite aktuelt i et land som Norge. Den enkelte bonde vil helst ha så stor årsinntekt at han ikke står tilbake for andre grupper i samfunnet. I tillegg vil han gjerne overlevere garden til neste generasjon i minst like god stand som da han selv tok over. Samfunnet må vurdere alle kostnader i matproduksjonen, f.eks. transport av driftsmidler til garden og transport av matvarer fra garden til forbruksstedet. Den enkelte bonde rekner ut fra nåværende priser og tilskottsordninger hva som er lønnsomt i hans tilfelle. Bonden må vurdere hvor godt bygninger, teknisk utstyr og familiens arbeidskraft er utnyttet. Han må endelig vurdere bruksverdien av aktuelle arealer før dyrking (f.eks. skogproduksjon eller utmarksbeite) mot bruksverdien etter dyrking.

Av økonomiske tiltak som har særlig interesse ved nydyrking er først og fremst direkte støtte til nydyringsarbeidet og særskilte støtteordninger for utbyggingsbruk.

Alle økonomiske forutsetninger og tiltak er tidsbestemte. De endrer seg med den generelle økonomiske politikken og med landbruks- og distriktspolitikken.

De tekniske forutsetningene er tidsbestemte i likhet med de økonomiske. I slutten av 1970-årene rekner vi det som selvsagt at driften skal være fullmekanisert og at det skal være mulig å bruke firehjulstraktor, moderne jordarbeidingsredskaper, såredskaper, utstyr for gjødselspredning

og alle moderne høstmaskiner. Det bør være minst mulig risiko for skader på maskin og folk som følge av ujamnt og bratt terreng, og stein- og blokkinnhold i jorda. Det bør være liten risiko for innskrenking av kjøring fordi jorda har liten bæreevne. Arealene bør være så sammenhengende og ha slik form og størrelse at det blir lite tomkjøring og lite omstilling og ekstra transport mellom deler av eiendommen. Avstanden fra driftsbygningene kommer også inn som en viktig faktor. De fleste av de tekniske begrensningene vil samtidig være økonomiske begrensninger.

Av tekniske tiltak som er bakgrunn for vurdering av dyrkingsverdien for et areal, kan nevnes kanalisering, grøfting, planering av kupert terreng (der jorddybden er tilstrekkelig). Vanligvis vil vi ikke ta med vatning som et normalt teknisk tiltak, men det kan tenkes det blir det i framtida.

De biologiske og dyrkingsmessige forutsetningene er at hvert areal passer for bestemte vekster og driftsformer. Normalt er vekselbruk den driftsformen som på lang sikt gir minst risiko for nedgang i jordas produksjonsevne, i form av utpining, erosjon og oppsamling av skadelig smitte av sykdommer og skadedyr. Vekstvalget er stort i låglandet på Jæren, Østlandet og Trøndelag, mens det er lite høgt til fjells og langt mot nord. Fra et biologisk/dyrkingsmessig synspunkt er det riktig å tilpasse vekstvalg, vekstskifte, jordkultur og plantevern til de naturgitte forholdene med sikte på å produsere årsikre, store avlinger med minst mulig kostnad, og med minst mulig risiko for å sette ned jordas produksjonsevne på lang sikt. Det er også aktuelt å ta med en ting til: Minst mulig skade på omgivelsene gjennom forurensing. Biologisk sett er vekstskifte det riktige også i kornområder. Det er riktig å stille slik med husdyrgjødsel at den utnyttes som gjødsel og moldstoff og ikke forurenser vassdrag. Ved intensiv husdyrproduksjon basert på før produsert utenom heime- eller nærarealene på garden, blir det så store gjødselmengder at det er vanskelig å rå med dem.

Ernæringspolitiske forutsetninger og målsettinger er at det er ønskelig med størst mulig sjølforsyning av mat for å spare import og for å ha størst mulig nasjonal handlefrihet i krisesituasjoner. Det er videre ønskelig at kostholdet skal være allsidig sammensatt og tilstrekkelig for behovet. Store deler av de dyrkbare områdene i Norge passer bare til produksjon av grovfôr, som må foredles gjennom husdyr for å bli mat. I låglandet på Jæren, Østlandet og i Trøndelag kan det dyrkes korn og også matkorn om det trengs.

De politiske målsettingene er tidsbestemte og overordnet alle andre målsettinger og forutsetninger. Fra et ernæringsmessig standpunkt er det lettest å øke sjølforsyningsevnen ved å dyrke opp ny jord i kornbygdene. For å opprettholde sysselsettingen i utkantstrøkene er det mest riktig å øke nydyrkingen i grovfôr områdene.

For å styrke næringsgrunnlaget i industrifattige strøk (såkalte nærings-svake strøk) er det mest riktig å øke nydyrkingen der. Næringssvake strøk



omfatter mye av det vi kan kalle grovfôrømråder, men også en del av kornområdene. Vi ser at de politiske målsetningene i siste omgang blir de avgjørende for omfanget og lokaliseringen av nydyrkingen.

#### Planlegging av nydyrkingsfelter

Det beste utgangspunktet for planlegging av nydyrkingsfelter er kart over jordtyper og kart over markpotensial (dyrkingsklasse). Det finst omtrent ikke jordtypekart. Det norske jord- og myrselskap tar på seg arbeid med kartlegging og klassifisering av myrer og nå også fastmark etter «dyrkingsklasser». Ellers er det gode topografiske kart med angivelse av markslag, i det økonomiske kartverket. Men der det er for lite opplysninger om jorda vil det være nødvendig å gjøre en del feltarbeid før et areal godtas som skikket for oppdyrking.

#### Naturlige voksevilkår — markvurdering

Den naturlige produksjonsevnen for ulike marktyper viser seg først og fremst i planteveksten på stedet. Kravfulle planteslag og kraftig vekst viser at produksjonsevnen er stor. Nøysomme småplanter, sparsomt plantedecke og utrivelig skog viser at den naturlige produksjonsevnen er liten. Men vi bør ikke alltid nedvurdere slik mark. Enkelte forhold kan rettes på med rimelig teknisk og økonomisk innsats. Andre endringer kan være teknisk umulige eller for kostbare. Det kan derfor være nødvendig å sette opp en liste over viktige forhold som bør vurderes ved nydyrking:

1. **Klima**
  - Veksttid
  - Temperatur i vekstida
  - Nedbør og fordampning
  - Frostfare
  - Total årsikkerhet
2. **Terreng**
  - Høyde over havet
  - Hellingretning og hellingslengde
  - Hellingsgrad
  - Ujarmhet (kupering)
  - Sammenheng, størrelse og form på arealene
  - Avstand fra driftsbygninger
  - Veisamband
3. **Jord**
  - Jorddybde (effektiv jorddybde til grus, stein, blokker, fjell)
  - Mengde av finjord og kornstørrelse i finjorda
  - Humusinnhold og -dybde
  - Dreneringsgrad
  - Struktur
  - Fasthet (bæreevne)
  - Blokk- og steininnhold
  - Rotsperrelag
  - Fjell i dagen
  - Næringstilstand og kalktilstand
  - Opphavsmateriale
  - Lagdeling

Det er grunn til å peke på at **dreneringsgrad** ikke bare viser sammenheng med jordegenskaper, men like mye med terrengegenskaper (topografi). Videre er det klart at nedbør- og fordampingsforholdene har betydning for den tilstanden en ser ute i marka.

Vassforsyningssevnen til jorda er avhengig av vasslagringsevnen i sum for alle lag fra overflaten og nedover, og av røttenes mulighet til å trenge ned og ta opp vatnet. Av de rene jordegenskaper som betyr mest for vasslagringsevnen, er jorddybde, kornstørrelsesfordeling og humusinnhold.

Når det gjelder **kornstørrelse**, kan følgende grupper skilles ut:

Blokker:	større enn 20 cm
Stein:	2–20 cm
Grus:	2 mm–2 cm
Sand:	0,06–2 mm
Silt (kvabb):	0,002–0,06 mm
Leir:	mindre enn 0,002 mm

Sand, silt og leir blir tilsammen kalt for finjord. Luftvekslingen går raskere i grovt materiale (sand og grovere), lagringsevnen for plantenyttbart vatn er størst for silt og humus og minst i sand og grovere materiale. Næringinnholdet er størst i leir.

## Vurdering av dyrkingsverdi

**Det bærende prinsipp i vurdering av dyrkingsverdien er valgfriheten med hensyn til driftsmåte, mekaniseringsform og vekstvalg. Jord som er billig å dyrke og ligger slik til at alle vekster kan dyrkes med selvvalgt mekaniseringsform, må rangeres høgest. Alle forhold som reduserer valgmulighetene er begrensninger.**

**Klimatiske begrensninger** kan ikke endres og bør derfor vurderes først. Høgden over havet og breddegraden setter absolutte stengsler for vekstvalg. Det kan gis «tilleggs-poeng» for jord med sørhelling i høgereleggende og nordlige strøk og «fradrags-poeng» for nordhelling. I flatbygdede sørpåk kan det være ønskelig med flat jord, men 1–3 prosent helling gir størst sikkerhet med hensyn til overflatedrenering.



**Begrensninger i jord- og terrengkvaliteten** skyldes manglende evne til å ta inn, lagre og gi fra seg energi, vatn og næringsstoffer, manglende luftveksling, lag som hindrer rotutvikling, manglende bæreevne for maskiner, for bratt og kupert terreng og for liten sammenheng og stor avstand mellom arealene.

**Jorddybden** bør helst være litt større enn normal grøftedybde, altså ca. 1 meter på mineraljord. Den bør være minst 2 meter der det ligger torv over grovt underlag. Mindre jorddybde må gi «fradragspoeng». Som effektiv jorddybde kan vi bruke den dybden røttene har til rådighet. Er det et rotsperrelag i form av f. eks. mer enn 15 cm grus, kan ikke røttene komme igjennom. Det blir derfor i det vesentlige snakk om dybden ned til grov sand, grus, stein og fast fjell.

**Kornstørrelsen** virker på vasslagring, drenering og luftveksling. I inlandsområdene må vi rekne at all jord som består av bare middels sand (kornstørrelse 0,2—0,6 mm) eller grovere materiale, er tvisl som vokseplass. Hvis lag av slikt grovt materiale er tykkere enn ca. 15 cm, bør det trekkes fra i jorddybden. I kyststrøk med stor nedbør er det ofte en fordel med noe grovere materiale for å sikre raskere drenering og luftveksling.

**Humusinnholdet** bidrar til vatn- og næringslagring og gir på grunn av mørk farge raskere oppvarming om våren. Det er dybden, mengden og kvaliteten som bør vurderes. Løs råhumus eller mosetorv vil gi lite av stabile moldstoffer hvis ikke dybden er stor. Tette, sterkt omdannede myrer i kyststrøkene er lite skikket for oppdyrking; her kan overflatedrenering være eneste mulighet for å få bort overflødig vatn.

**Stein- og blokkinnholdet** er til hinder for teknisk utnytting av jorda, og fører til et forholdsvis stort «dødt» volum. Ved nydyrking til åkerbruk må dybden av det ferdige, steinfrie plolaget være minst 25—30 cm. Hvis det er ca. 40 volumprosent stein i jorda, vil det si at vi må fjerne stein og blokker med et totalvolum på ca. 200 m<sup>3</sup> pr. dekar ned til 50 cm dybde før plolaget er ferdig. Er det mer stein, kan dyrkingsverdien være tvisl som. I mindre gode strøk bør vi nok sette grensen ved ca. 100 m<sup>3</sup> stein og blokker pr. dekar.

I de beste jordbruksstrøk kan det av og til være aktuelt å dyrke opp svært stein- og blokkrik jord hvis det gjelder et næreal (kort avstand fra tunet) eller dyrkingen kan føre til forbedring i de tekniske driftsforholdene. I steinrik jord er det svært viktig å vurdere materialet mellom steinene. Det er liten vits i å fjerne 200 m<sup>3</sup> stein pr. dekar hvis det blir igjen bare grov sand. For øvrig er grensene for steinmengder avhengig av teknikk og økonomi, og derfor flyttbare. Det er nyttig å rekne ut hvor store årlige avlinger som må til for å dekke i det minste rentekostnadene ved steinrydding.

Ved **fruktdyrking** kan stein- og blokkinnholdet være ganske stort hvis innholdet av finmateriale er tilstrekkelig. Brutto jorddybde må imidlertid være minst 1,5 meter, men helst 2 meter.

**Dreneringsgraden** må ses i forhold til klimaet. På Østlandet vil mark som er overflødig sterkt drenert «falle ut» på grunn av liten evne til vasslagring. I kyststrøk kan slik jord være brukbar hvis vi greier å holde nærings-tilgangen under kontroll. Den tette og svært dårlig drenerte jorda er vanskelig å få i skikkelig stand og er særlig vanskelig i kystklima.

**Fjell i dagen og oppdelte, usammenhengende områder** gir store begrensninger som det er omtrent umulig å rette på. Det bør gis «fradragspoeng» etter avstand mellom fjellskjærene og graden av oppdeling. I grunnfjellsområdene er det vanlig at det stikker opp fjellskjær. I hellende terreng er det stor risiko for at arealet av fjell øker med tida fordi fjellskjærene gir sterkere avrenning og fordi nesten all jordarbeiding fører til en langsom transport av jord nedover.

Ved nydyrking bør vi legge vekt på å spare vegetasjon, f. eks. trær som har klort seg fast på fjellskjær og i steinrøyser. Vegetasjonen beskytter mot for sterk avrenning og dermed mot erosjon. Det er for øvrig tvisl som å fjerne alle trær og busker i kulturlandskapet. Trebeiter beskytter mot vind og gir en biologisk bufferevne som kan være av betydning for å opprettholde balanse mellom alle organismer. Planlegging for nydyrking bør ses i sammenheng med planlegging av hele kulturlandskapet.

**Bakket og bratt terreng** gir sterke begrensninger for bruksmåten, spesielt for mekaniseringen. Et slikt terreng fører også til risiko for stor erosjon. Vanligvis må fallet være mindre enn 1 : 6 ved bruk av firehjulstraktor og skurtresker. Fall på 1 : 8 eller mindre er ønskelig. Med bakhjulsdreven traktor, høvelig utstyr og dyktig kjørekar kan vi dyrke før i stigninger inntil 1 : 4, under visse forhold inntil 1 : 3. Med høvelig firehjulsdreven traktor eller transporter kan tilsvarende arbeider utføres i stigninger på 1 : 2,5. I terreng med fall på 1 : 4 eller mer, er arbeidet alltid risikofyllt.

**Jord med liten bæreevne**, i første rekke torvjord, gir begrensninger for bruken av maskiner. Hvis dybden av torvlaget er liten, kan det blandes med underliggende mineraljord. Er dybden stor, blir slik blanding kostbar, og er det grus eller stein under, er den neppe gjennomførbar Sand- og leirkjøring av myr øker bæreevnen. Nødvendig mengde er 20—50 m<sup>3</sup> pr. dekar.



Næringsstilstanden er mindre viktig enn tidligere på grunn av bruk av kunstgjødsel og kalk som en normal del av dyrkingsteknikken. Likevel bør vi vurdere risikoen for mangelsykdommer som følge av at jorda har liten evne til å forsyne plantene med mikronæringsstoffer.

\* \* \* \*

- Lønnsom nydyrking avhenger både av det tekniske utstyret og måten vi bruker det på.
- Det er viktig å velge riktig utstyr og metoder som egner seg under ulike dyrkingsforhold.
- God kvalitet på arbeidet vil på lang sikt bety mer enn om vi sparer noen kroner i dyrkingsutgifter.
- Det er blant annet svært viktig å ta vare på humuslaget.

## Dyrkingsmaskiner

### TRAKTOR

- Traktoren må være robust så den tåler påkjenningen.
- Den må ha god markklaring, men likevel være stabil.
- Traktoren må ha stor motorstyrke og mange arbeidsgir.
- Den må også ha gode kjøreegenskaper og være lett å komme på og av.
- Firehjulsdrift er fordelaktig ved mange arbeider på nybrottsfelt.
- Traktor som skal brukes på lite bæredyktig mark bør kunne forsynes med effektive halvbelter og/eller tvillinghjul.

På sleip fastmark vil kjettinger kunne øke arbeidskapasiteten vesentlig. Forsøk har vist at vi på sleip mark kan øke pløyekapasiteten til det dobbelte ved å bruke belastningsringer med griperne ute

sammenliknet med ikke å bruke griperne.

Lettdyrket jord vil gardbrukere som har ledig arbeidshjelp kunne dyrke selv. Etterarbeid etter grovdyrking på vanskelige felt kan

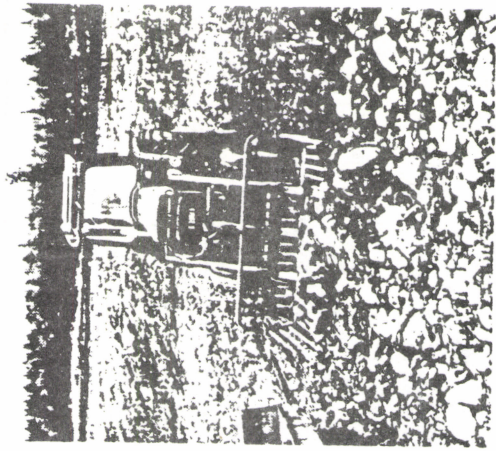
uheldig. Det er bedre å ta ut annen- hver tind og i første omgang fjerne stor stein slik at jorda kan arbeides mer for å smuldre torva før videre steinrydding.

For å lette bruken av steinsvans under arbeid, kan vi bruke en enkel eller helst dobbeltvirkende oljesylinder som toppstang.

I prøver med stor steinsvans ved Landbruksteknisk institutt (LTI) er det oppnådd kapasiteter fra 4 til 11 m<sup>3</sup> pr. time (totaltid), avhengig av steinmengde, traktortype og øvelse. Forutsetningen for effektiv bruk av steinsvans til rydding av småstein er at feltet er godt arbeidet, slik at steinen ligger mest mulig fritt og det er lett å skille jord og stein.

Til jordarbeiding og oppføring av stein kan vi bruke nybrottsnarver med stive, fjærbelastede tunder eller fjærende tunder.

Grubber med stive tunder kan nyttes til å løsne fast jord og bryte



Foruten til rydding av stor stein kan steinsvans som her med fordel nyttes til samling og lessing av mindre stein.

også gjøres av gardens egen arbeidshjelp hvis de har høvelig utstyr.

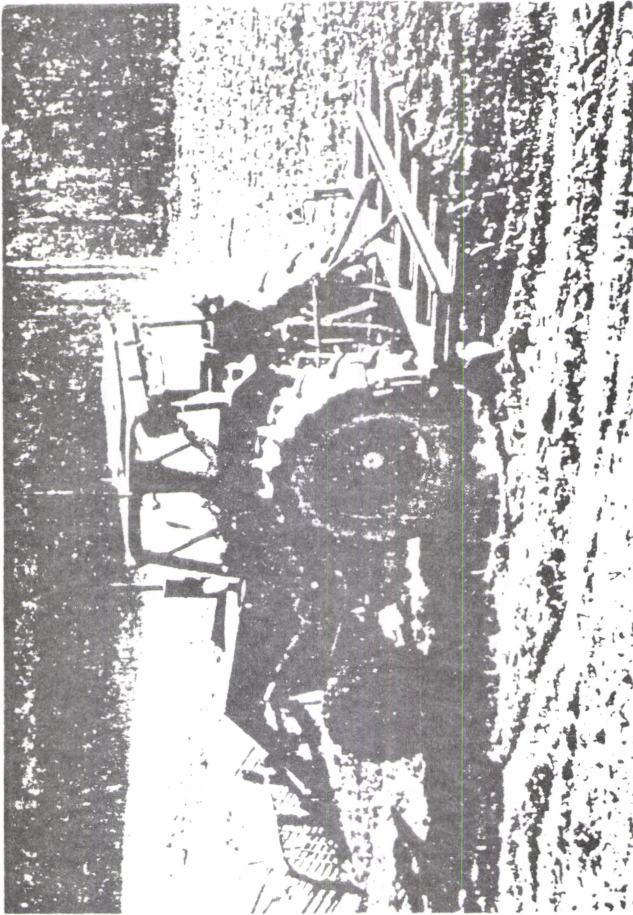
### UTSTYR TIL TRAKTOR

Trepunktmonterte nybrottspløger lages i størrelsene 14, 16, 18 og 20". Pløying er fortsatt en aktuell dyrkingsmåte når brukeren selv skal gjøre arbeidet. En to- eller flertindet steinklo på lesseapparatet kan med fordel nyttes til å bryte opp store steiner som er vanskelige å velte opp med pløgen. Steinkloa kan også brukes trepunktmontert til dette arbeidet.

Det er en fordel å kjøre bort det meste av stor stein på oppløyd mark for å unngå uheldig pakking av jorda. Har gardbrukeren flere traktorer, kan stor stein kjøres bort med steinsvans direkte samtidig med pløyinga eller lesses opp med steinsvans på traktorens lesseapparat. Har vi bare én traktor, kan vi pløye og rydde teig for teig, slik at transporten ut av feltet for det meste kan foregå på uarbeidet mark.

Steinsvans lages i dag i to ulike størrelser. Den største er 2 meter brei og har tre sidetunder på hver side for å hindre stein i å falle av. Den minste typen er 1,5 meter brei. Begge størrelsene har 10 cm senteravstand mellom tindene. Med den fasjon tindene har, blir fri tindeavstand ca. 8 cm ved tindespissen avtakende til ca. 5,5 cm i bakkant. Det er derfor mulig å samle og lesse opp forholdsvis liten stein med dette utstyret. På nybrott med mye torv vil torva lett bli fjernet sammen med steinen hvis vi tar en grundig steinrydding med en gang. Dette er





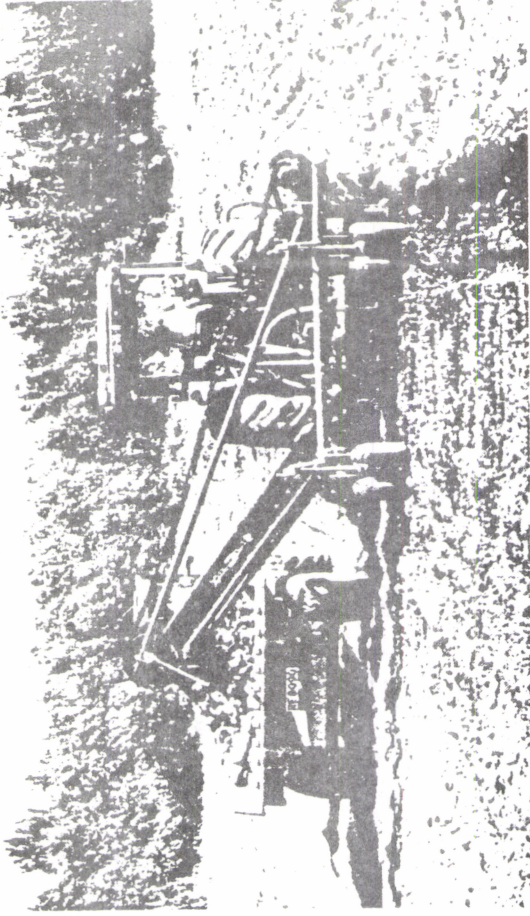
Dypharver av forskjellige slag nyttes til løsning av jorda og oppføring av stein på nybrottsfeltet før en bruker steinryddingsutstyret.

opp jordfast stein. Den kan også brukes i stedet for plog på lett jord med tynt, lett smuldrende matjord-sjikt.

**Steinsamlere** som arbeider etter ulike prinsipper er tatt i bruk på nybrottsfelt.

Kvernland steinsamler er trepunktmontert og derfor lett å betjene, men den krever en traktor med minst 1 700 kp løfteevne i enden av trekkstengene. For å få tilfredsstillende stabilitet bør traktoren utstyres med frontvekter, helst lesseapparat. Firehjulsdrevne traktor er fordelaktig på vanskelige, kupert felt. Kvernland steinsamler har et 1,65 meter breitt skjær som fører jord og stein inn over en tverrgående rist av rørspiler

som bøyer opp ved skjærets venstre side og virker som kombinert skillerist og lesseelevator. Ved bruk av seks eller sju spiler blir det henholdsvis 4 og 3 cm fri spileavstand. På nybrott passer det best med seks spiler og 4 cm spileavstand. Et transportbelte som består av to langledede kjeder med medbringere fører jord og stein oppover skillerista der jorda på grunn av risting og vibrasjoner skilles fra og steinen lesses rett i tilhenger. Steinsamlere kan lesse steiner som er 40—45 cm lange, men blir det mye stein i denne størrelsen vil det være fordelaktig å fjerne den på forhånd. Maskinen arbeider forholdsvis grunt og må derfor kjøres flere ganger etter grundig harving for at det skal bli tilfredsstillende rensing av dyrkingssjiktet.



Kvernland steinsamler i arbeid.

Minst én gangs pløying er nødvendig for å få opp stein fra dypere sjikt. Ofte passer det best å pløye og rydde steinen etter at feltet har vært brukt ett eller flere år for at torva skal smuldre.

Maskinen skiller jord og stein best når det er forholdsvis mye stein i maskinen. På felt med lite stein kan vi rake steinen sammen med sideleggende steinrive for vi lesser med steinsamlere. På den

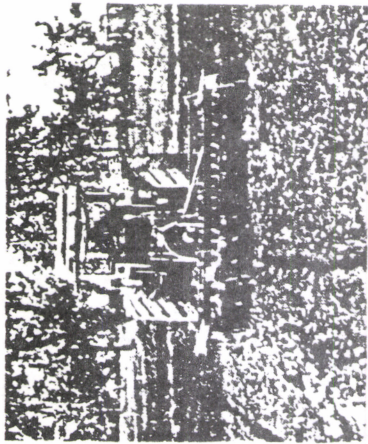
måten kan vi også øke steinsamlerens kapasitet med fra to til fire ganger.

Kvernland steinrive er trepunktmontert og den har en 4 meter lang skråstilt rotor med en effektiv arbeidsbredde på 3,2 meter. Steinriva krever en traktor med en løfteevne ytterst i trekkstengene på ca. 1 400 kp. Frontbelastning på traktoren er ofte fordelaktig ved bruk av steinriva.

#### Kapasitet ved bruk av Kvernland steinrive og steinsamler på nybrott.

Steinmengde, m <sup>3</sup> pr. dekar		Steinrive, dekar pr. time		Steinsamler, dekar pr. time	
Gj.snitt	Variasjon	Gj.snitt	Variasjon	Gj.snitt	Variasjon
10,8	2,8—33,6			1,2	0,6—1,9
3,4	0,6—17,3	4,2	0,7—8,0	3,5	1,3—10,6





På felt med lite stein kan vi øke steinsamlerens kapasitet ved å rake sammen steinen med sideleggende steinrive.

Kvernland steinrive lages nå og så i en mindre utgave med en arbeidsbredde på ca. 2,4 meter. Videre lager Eina sveiseverksted «Ranka» sideleggende steinrive med samme arbeidsbredde. Denne steinriva er lettere enn Kvernland steinrive med samme arbeidsbredde.

Tokvam steinsamler er en slepe-maskin for samling og lessing av overflatestein. Maskinen kan leveres med 1,4 eller 1,8 meter arbeidsbredde og 4 eller ca. 7 cm avstand mellom spilene i den kombinerte samle- og skillegrinda. Maskinen arbeider best på felt som er godt arbeidet så steinen ligger fritt på overflata. Er det mye stor stein, bør den fjernes før vi bruker steinsamleren.

To nye småsteinsamlere er kommet på markedet de siste årene. Det er «Saga» og «Kvålplukkeren» som begge er til prøve ved LTI i 1978. Maskinene er av samme type som Tokvam steinsamler, men har helt skjær foran skillerista og fjærende tinner i innmatervinda. Spileavstand i skillerista er henholdsvis 35

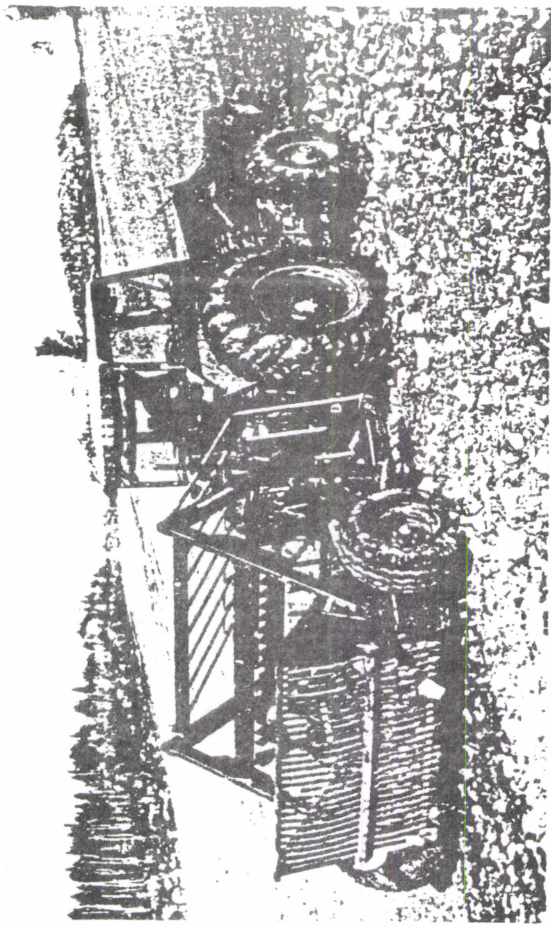
og 32 mm. Maskinene kan arbeide til ca. 10 cm dybde under gunstige forhold og de kan nytties etter ranking med steinrive. Større stein enn ca. 25 cm bør fjernes før vi bruker disse maskinene. Enkelte detaljer på maskinene bør forbedres for å øke driftssikkerheten.

Ved dyrking av myr vil selve jordarbeidingen oftest kunne gjøres med traktordreven jordfres utstyrt med vinkelforma kniver. Bare i enkelte tilfelle vil pløying være fordelaktig ved nydyrking. Ved pløying bør pløgen utstyres med skiveristel for best mulig skjæring av torva. Stubber i myra kan brytes med én- eller totindet steinklo eller med traktormontert gravemaskin.

Mer arbeidskrevende dyrkingfelt som steinrike morenefelt, skogsmark med mange og store stubber, myr med stubber i ulike sjikt og felt der det er nødvendig med større planeringsarbeider, passer det vanligvis best å sette bort til entreprenører som har større og kraftigere dyrkingsutstyr, f. eks. bulldoser, lastemaskiner, gravemaskiner og transportutstyr (dumperer).

#### UTSTYR TIL BULLDOSER

Stubbriver eller brei river er det mest vanlige utstyret til bulldoser som nyttes både på stein- og stubberik mark. Underhaugs type har vært og er fortsatt mest aktuell. Denne riveren har runde tinner og avstanden mellom tindene er 40—45 cm. Tindene kan etterstilles når de blir slitt. For å få god kvalitet av dyrkingsarbeidet, bør en bruke tinner med god lengde under ram-



Tokvam steinsamler kan tømme beholderen i tilhenger, men på mindre felt kan beholderen tømmes på steinrøysa og arbeidet gjøres av én mann.

Av ploger er det vesentlig Skjerpeplogen som er brukt. Den monteres med fire bolter til Underhaugs rive foran på høgre side godt synlig fra førerplassen. Plogen er ikke lenger i produksjon, men det finnes fortsatt en god del ploger som med fordel kan nytties til spesielle arbeider. Til større planeringsarbeider bør bulldoser-skjæret nytties, men husk å ta vare på humuslaget og få det jevnest mulig fordelt over feltet etter planering.

Til lastemaskiner kan vi nytte ulike skuffer eller steingreip til lesing av stein og tømmerklo eller lignende ved samling, lessing eller opplegging av stubber for brenning.

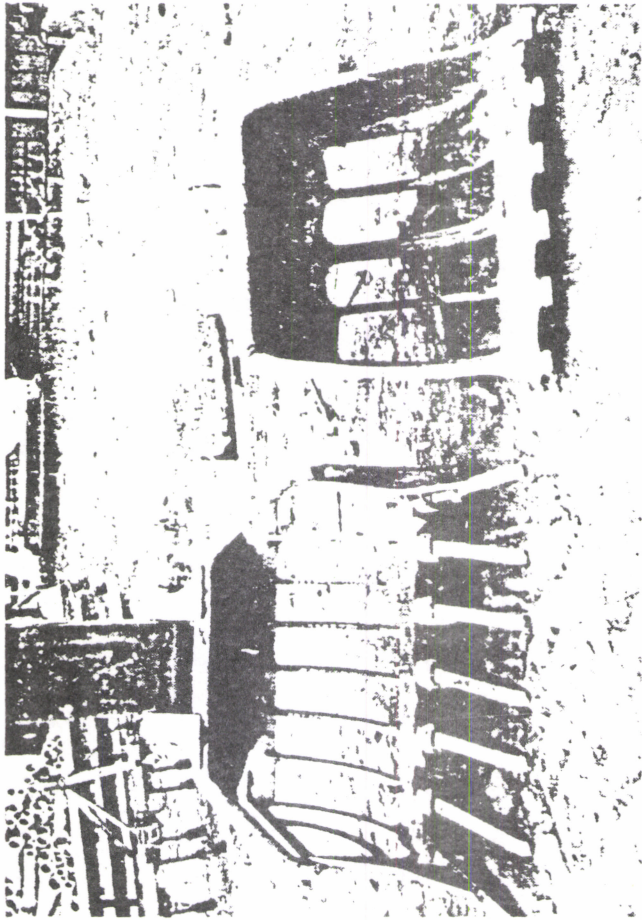
#### UTSTYR TIL GRAVEMASKIN

Etter at graveskuffemaskiner ble tatt i bruk til dyrking er det utviklet

forskjellige spialskuffer. Standard skuffer, 1 meter breie med utskiftbare tenner der bunnen består av tre eller fire spiler, er mye brukt. Denne skuffetypen passer godt på hard jord, og jord med aurhelle der det er viktig å ha kvasse tenner. 1,3 meter brei dyrkingskuffe med 60 cm lange tenner og med spiler i bunnen og sidene har stor soldeflate og får derfor god soldeevne og god kapasitet. Skuffa egner seg spesielt til dyrking på steinrik, forholdsvis løs jord. På hard jord er denne skuffa vanskelig å få ned, og slitasjen blir stor. Skuffa kan med fordel nyttes på stubbemark, men til brytning og risting av stubber vil en skuffe med færre tinner, f. eks. 1 meter brei skuffe med fire tinner, passe bedre.

I tillegg til disse skuffetypene har også flere entreprenører laget egne dyrkingskuffer. Vi bør imidlertid





Til høgre standard spileskuffe med utskiftbare tenner. Denne type dyrkingsskuffe bør nyttles på hard jord. Dyrkingsskuffa til venstre med 60 cm lange tenner egner seg godt på steinrik, løs morenejord. Tilsvarende dyrkingsskuffer lages i dag av flere fabrikker.

ikke nytte skuffer med for stor spileavstand på steinrik jord da elterarbeidet blir svært arbeidskrevende og det kan bli nødvendig å bruke steinsvans til rydding før vi bruker steinsamler. På tørr og lett smuldrende jord kan vi nytte dyrkingsskuffer med 14 til 16 cm

## Dyrking av steinrik mark

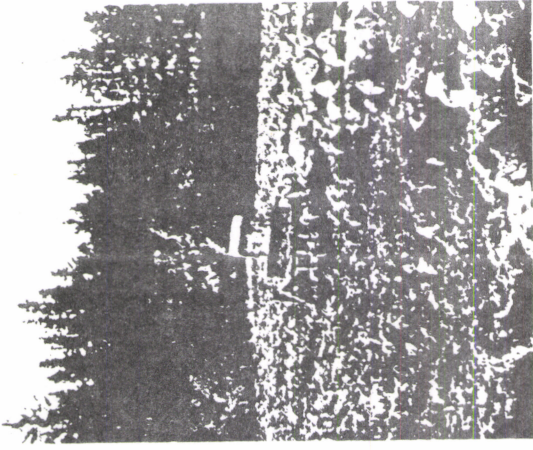
Dyrking med bulldoser på steinrik morene foregår ofte ved såkalt grubbing med brei river. Ved denne dyrkingmåten begynner en helst lengst fra lagerplass for stein eller

es ned på uarbeidet mark der den skyves over neste teig for teigen gjennomarbeides. Ved å skyve steinen på uarbeidet mark, vil jord og torv bli skilt fra. Ved korte avstander skyves steinen til grensen for feltet, men ofte er det aktuelt å nytte lastemaskin og dumper for opplesning og transport. Det er en fordel å gjøre dette arbeidet samtidig med bryting, slik at transporten kan foregå på uarbeidet mark.

Selv etter to—tre gangers gjennomarbeiding av jorda med brei river blir det igjen stein i dyptere sjikt som etter hvert hindrer pløying og jordarbeiding. En dyp pløying med Skjerpeplog etter én gangs grubbing vil føre stein fra større dybde opp i dagen, slik at den kan fjernes under dyrkingsarbeidet. På felt med vesentlig stor stein kan vi i stedet for grubbing i første omgang rydde bort stor overflatestein før vi pløyer med Skjerpeplog — eller blir arbeidet likt.

Til lessing av stor stein kan vi nytte hjulgående lastemaskin på tørr jord og i forholdsvis flatt terreng. På sleip jord og i kupert terreng vil en beltgående lastemaskin være bedre egnet. Til lessing av stein kan vi bruke ulike typer steingreip.

Skal det bli et kvalitativt godt dyrkingsarbeid, vil det være nødvendig med to—tre gangers bruk av bulldoser med utstyr og to gangers lessing av stor stein med lastemaskin. Dette går bra under tørre forhold, men i nedbørrike strøk og på rålendt mark vil all kjøringa lett pakke og elte jorda og ødelegge jordstrukturen. Arbeidet må ofte innstilles under slike forhold. *Buldoseren egner seg best på tørre, storsteinete felt der steinen ligger*

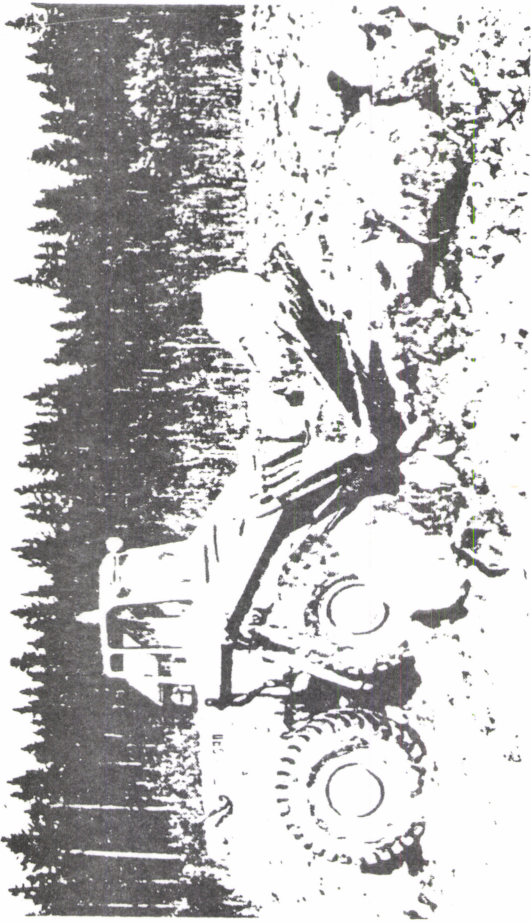


Grubbing med bulldoser med brei river. Stor stein brytes ved gjennomarbeiding av jorda og skyves inn på uarbeidet mark.

høgt og på felt med lite stein og felt som må planeres.

Ved dyrking med gravemaskin med spileskuffe kan vi legge opp arbeidet slik at vi er mer uavhengig av været og fuktighetsforholdene. Gravemaskinen kan kjøres på uarbeidet mark og dyrke en teig som er 10—13 meter brei etter hvert som maskinen kjøres fram. Stubber og stor overflatestein brytes og lesses opp eller legges ut til siden, deretter flekkes torva av og vendes i den reenna maskinen har gravd over teigen, deretter graves det til ønsket dybde og jorda soldes over den vendte torva mens steinen blir igjen i skuffa. Det lønner seg oftest å ta flere tak før skuffa tømmes i tilhengeren. Med en dyrkingsskuffe med lange tenner kan steinen fjernes fra ganske stor dybde, 60—70





Hjullaster med steingreip kan nyttes til samling og lessing av stein på tørr og forholdsviss flat mark. Store hjullasterer kan også nyttes til direkte borttransport ved små avstander.

cm, på lett jord uten at mye undergrunnsjord fores opp.

Torra må ikke legges dyper enn at den blandes inn i dyrkings-sjiktet ved pløying og dyp harving!

Ved å nytte denne metoden kan steinsamler nyttles direkte etter grunn harving uten å fjerne torv og matjord.

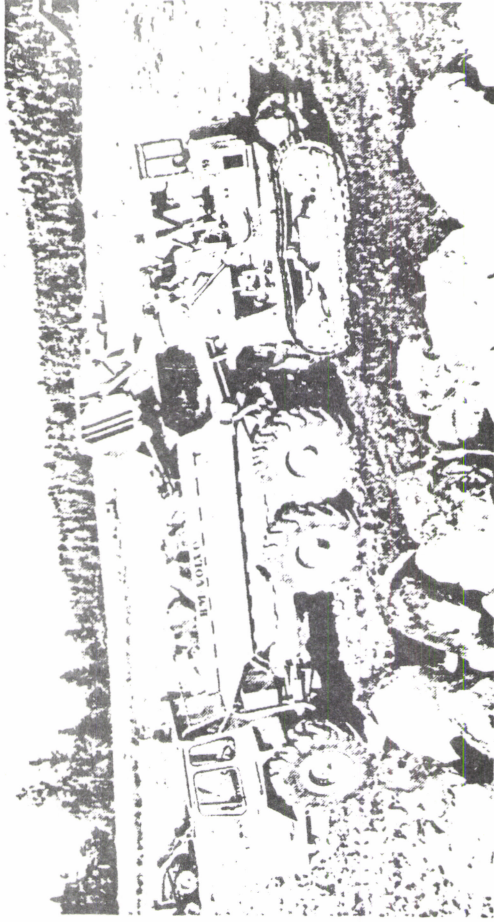
#### OPPLEGG AV DYRKINGS-ARBEIDET

Vanligvis er det mest praktisk å lesse opp steinen samtidig med dyrkingsarbeidet og kjøre den bort. På rålendt mark kan grøftene graves og legges på forhånd, men fylles samtidig med dyrkingen. Arbeidet legges opp slik at steintransporten foregår på uarbeidet mark. Fyll grøftene og legg ned kabler eller annet for å beskytte rørene der

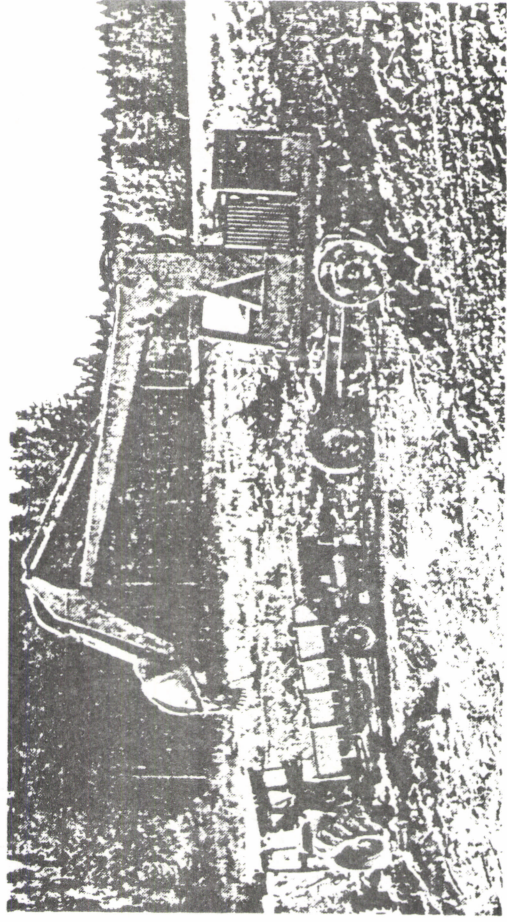
grøftene må krysses med transportutstyret!

Hvis forholdene ikke gjør det mulig å kjøre bort steinen samtidig med dyrkingsarbeidet, kan steinen fra to teiger legges sammen for senere opplesning og bortkjøring. Ønsker en å kjøre på telen bør underlaget jevnes og småstein legges i bunnen. Jorda bør også skilles godt fra slik at steinen ikke fryser fast.

Ut mot feltgrensen der steinen kan legges, ned mot et dalsøkk eller mot et fallbrott der steinen kan graves ned, kan gravemaskin flytte steinen over to til tre teiger, avhengig av steinmengde og steinstørrelse. På den måten sparer vi transportutstyr, dyrkingen kan bli billigere og arbeidet kan fortsette under ugunstige værforhold. Forsøk har vist at nedgraving kan

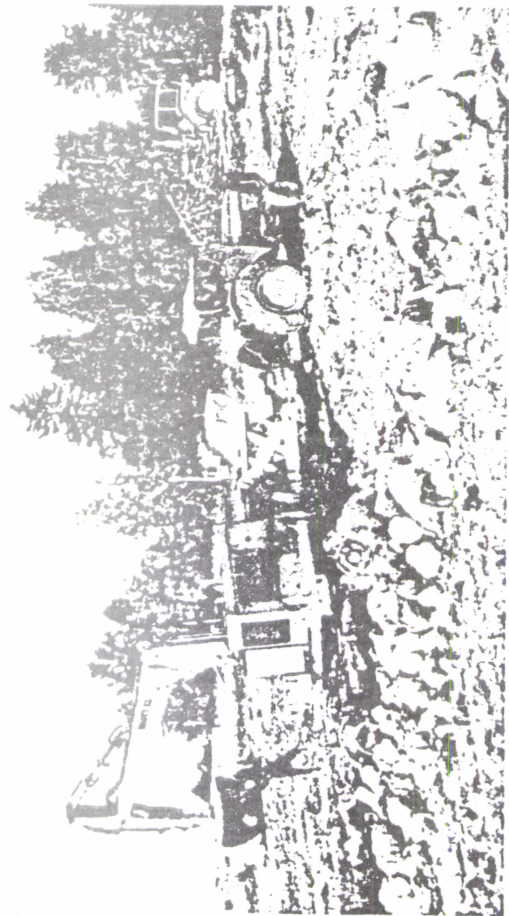


Bellelaster kan nyttes i mer kupert terreng og på mer sleip jord enn hjullasteren. Stort og kostbart transportutstyr kan gi billig steintransport når det blir godt utnyttet. (Store, kostbare maskiner må utnyttes effektivt!)



Der forholdene tillater bortkjøring av steinen samtidig med dyrking, kan transporten foregå på uarbeidet mark. Bruk ikke større og kostbare transportutstyr enn nødvendig!





*Lessing av stein som tidligere er lagt i ranker ved dyrking med gravemaskin.*

konkurrere i pris med bortkjøring ved en steinmengde på ca. 75 m<sup>3</sup> pr. dekar. Steinen bør bare graves ned når det er lett å grave og det ikke er særlig store steinmengder i dyper sjikt. Det bør være minst en meter jord over steinfylling og den

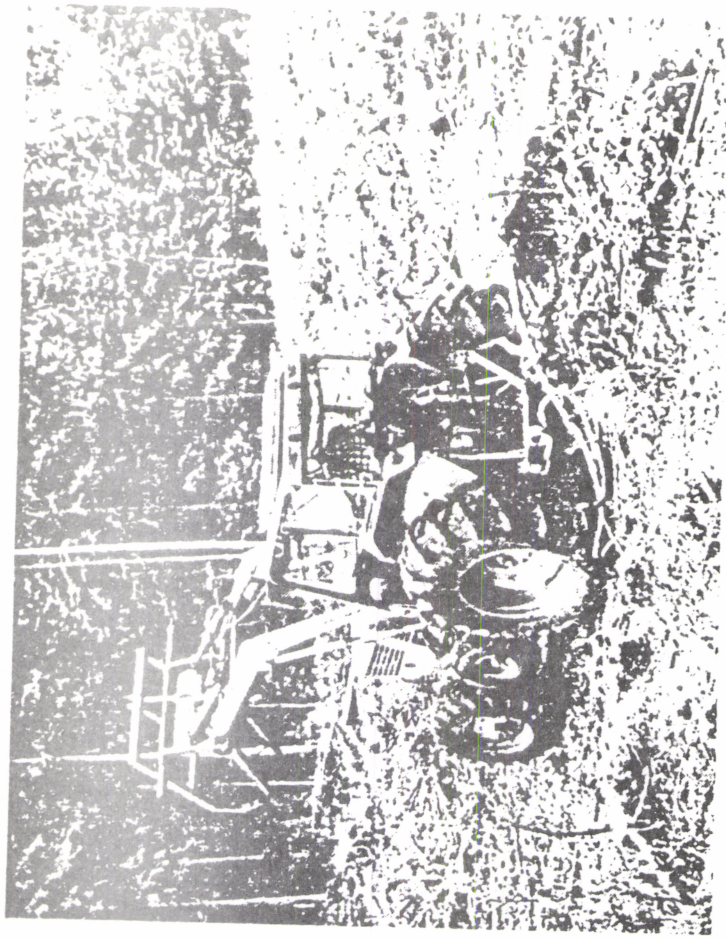
bør tettes best mulig med småstein eller dekkes slik at jorda ikke forsvinner ned i fyllinga. *Slike steinfyllinger må koples til grøffesystemet for å hindre oppskyting av vatn.*

## *Dyrking av steinfri skogsmark*

Ved dyrkingsmåter som tar sikte på midlertidig eller varig ranking av stubbene vil kvistrydding før vi bryter stubbene gjøre at feltet tørker bedre opp og at mindre jord blir fjernet sammen med stubbene. Det vil også gå med mindre tid til bulldoser- og gravemaskinarbeid.

I forsøk har manuell kvistrydding krevd 2,2 til 7 timer pr. dekar, avhengig av kvistmengden, mens rydding med traktor med harv og

steinsvans eller tretindet lessegaffel på lesseapparatet har tatt 1 til 4 timer. Det er spart 0,7 til 0,9 timer pr. dekar ved dyrking med bulldoser eller kombinasjon av gravemaskin og bulldoser når kvisten er ryddet på forhånd. Best virkning har kvistrydding på forhånd ved at det kjøres bort mindre mineraljord og humus under dyrkingsarbeidet. Samtidig bryting og ranking fører bort mer hu-



*Traktor med harv og lessegaffel for kvistrydding.*

mus enn om stubbene brytes for seg og det arbeides godt med stubbene ved sammenkjøring etter tørking.

Bryting med gravemaskin er fordelaktig på rålendte felt. Oppbrutte stubber kan da konsentreres noe slik at noen grøfter kan graves og legges før stubbene kjøres sammen. På tørre felt med god bæreevne kan bulldoseren nyttes til bryting og sammenkjøring av stubbene. På tørr sandjord kan en få god skilling av jord og humus fra stubbene i forbindelse med bryting og sammenkjøring direkte, særlig hvis kvisten er ryddet på forhånd. På andre jordarter vil det være en fordel om stubbene brytes opp og får ligge mest mulig fritt en tid før

de kjøres sammen. Ved å arbeide med stubbene, bl. a. la dem rulle foran riveren ved sammenkjøring, kan mye jord og humus skilles fra når stubber og jord er tørket.

Ved midlertidig lagring av stubbene i ranker på feltet vil ca. 15 prosent av arealet være dekket av stubberankene, noe mindre om kvisten er brent før ranking. I vanlig praksis er det så mye mineraljord og humus i rankene at det er vanskelig å brenne dem og heller ikke riktig på grunn av at humusen brenner opp. Det blir derfor aktuelt å fjerne stubberankene når de har ligget noen år. I forsøk på furumark er gjennomgraving av ranker med gravemaskin sammenliknet med





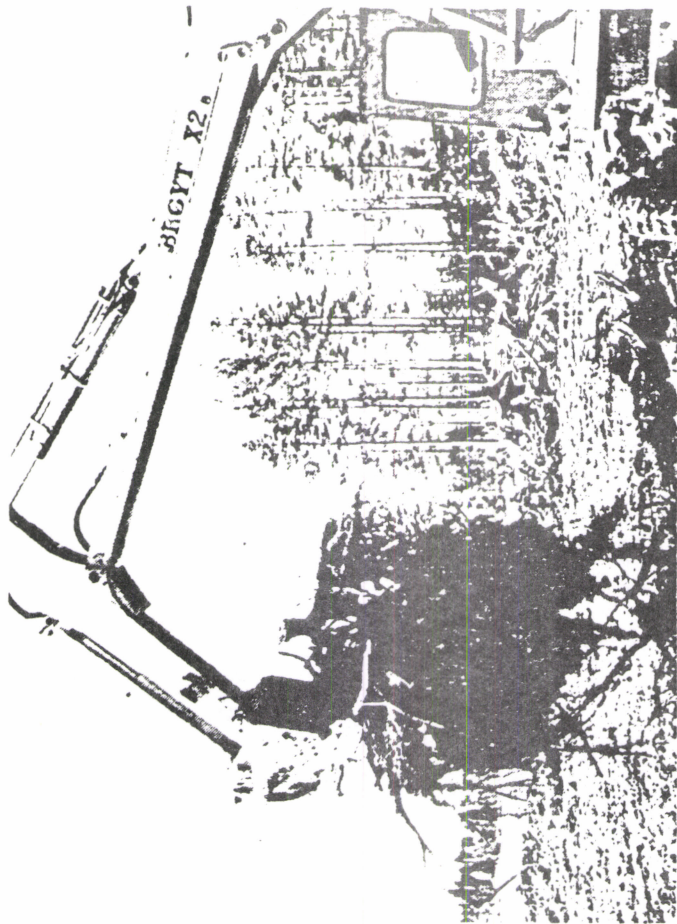
Bulldoser med brei river i arbeid med ranking av stubber.

utkjøring med bulldoser. I første tilfelle er stubbene brent, i andre tilfelle lesset i tilhenger med steinsvans på traktorens lesseapparat. Arbeidsmengdene går fram av følgende lesset i tilhenger med stein-

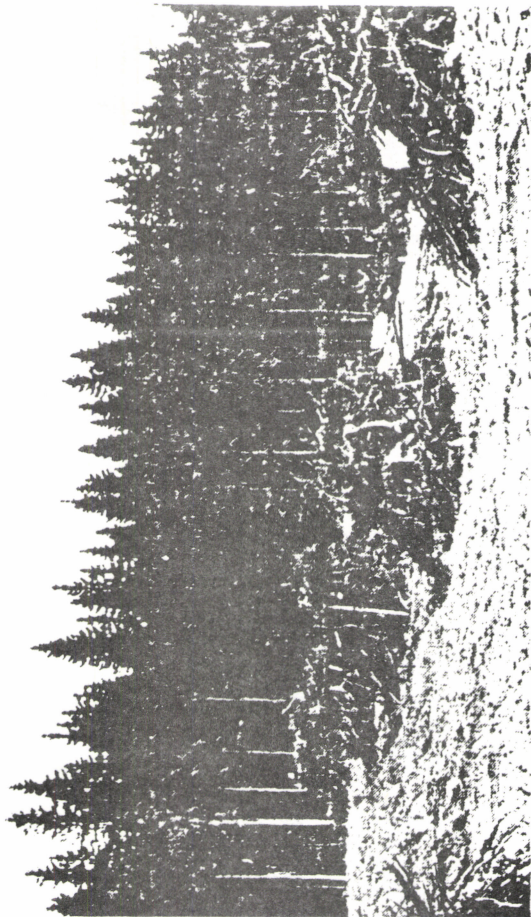
Kvist brent før dyrking	Arbeidstid i timer pr. dekar			Manuelt arbeid; plukking av kvist og røtter
	Gravemaskin, Brøyt X 20	Bulldoser, Caterpillar D 6	Traktor med lesseapparat og tilhenger	
Ja .....	1,11	0,3	0,4	0,8
Nei .....	1,67	0,3	0,4	0,8
Ja .....		0,46	2,3	0,8
Nei .....		0,79	2,3	0,8

En dyrkingsmåte som blir mer og mer brukt er bryting av stubbene med gravemaskin og reingjøring og opplegg i haug for brenning. Metoden forutsetter god reingjøring av stubbene og opplegg i forholdsvis smale, høge hauger da disse tørker

lett og er lette å brenne. Noe oppdeling av stubbene under bryting letter reingjøring og tørking. Arbeidstid for bryting, reingjøring og opplegging av stubber i haug for brenning har ved forsøk under lette forhold variert fra ca. 3 til 3,5



Spilekuffe med fire lange tander egner seg godt til bryting og reingjøring av stubber.



Stubbehauger på nybrottsfelt.



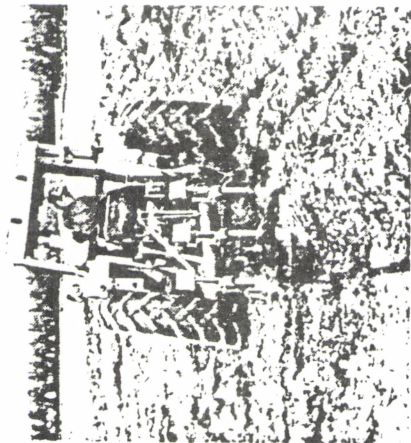


Dansk krattknuser i arbeid med oppmåling av kvist og smårøtter på steinsfritt nybrottsfelt.

Stubbehaugene brenner etter en til tre måneders tørketid.



timer pr. dekar. Under vanskelige forhold — rå leirjord og med kvisten liggende på feltet — har det gått med 5 til 6,5 timer pr. dekar. Ved denne dyrkingsmåten blir lite humus fjernet fra feltet dersom humusen skrapes bort der stubbehaugene skal legges. Dyrkingsmåten fører derfor til at det blir god kvalitet på arbeidet som også blir billigere totalt enn de før nevnte metoder med stubberanker som seinere skal kjøres ut igjen. Stubbene bør ikke brennes på myr. Der kan stubbene slepes bort med traktor, lesses opp eller skyves til lagerplass med bulldoser, avhengig av forholdene.



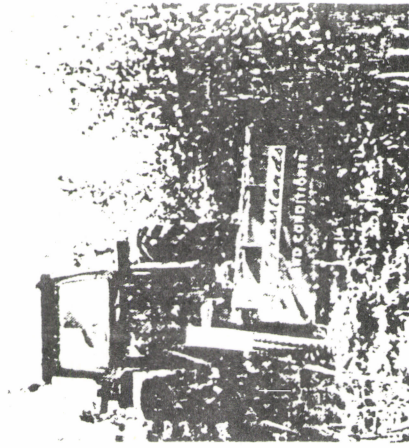
Pløying av nybrottsfelt på furumark med treskjærers plog etter kryssharving med skålhary.

Skyving av stubbene til lagerplass kan være aktuelt der de kan legges på fjell eller i dype daler inn til dyrkingsfeltet og der vi ikke kan brenne dem på grunn av beliggenheten.

Etterarbeid med jordarbeiding og rydding av kvist og smårøtter kan — avhengig av forholdene — gjøres på forskjellig måte.

Etter ranking med bulldoser kan feltet harves eller pløyes. Etter brytning med gravemaskin er feltet ofte mer ujamnt og løse torvflak kan være vellet opp. Det kan da være en fordel å nytte fres eller skålhary for å kutte opp løs torv før pløying. Er det mye kvist på feltet kan skålharya nyttes, men en kvist- og krattknuser vil være mer effektiv til å male opp torv, kvist og røtter.

Etter pløying og harving kan kvist, røtter og småstubb kuttes med krattknuser eller rakes sammen



Krattknuser kan også nyttes for oppmåling av busker og kratt ved dyrking f. eks. i fjellet.



med harv og samles og lesses med steinsvans, eller plukkes manuelt direkte i tilhenger. Ved forsøk har sistnevnte operasjon i gjennom-

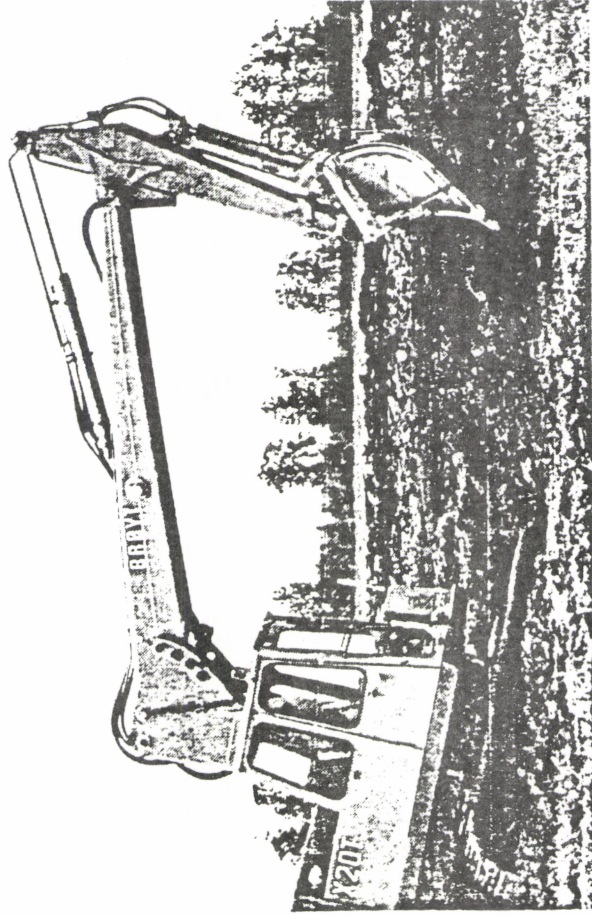
snitt krevd 0,4 timer pr. dekar for traktor med tilhenger og to mann, med variasjon fra 0,25 til 0,65 timer.

## Dyrking av myr

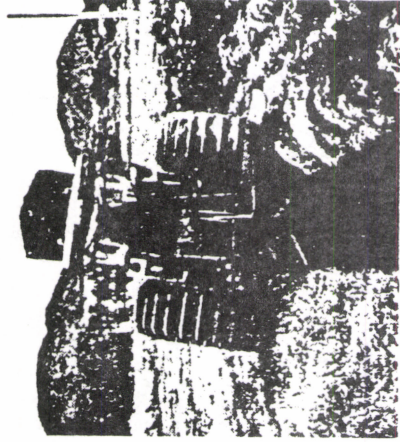
Dyrking av myr starter gjerne med grøfting. På trebar myr vil det være fordelaktig med foreløpig åpne grøfter, gjerne i ett år før vi legger rør og fyller grøftene. På lite om-dannet myr er dette gunstig for å få ut vatn så myra synker og blir fastere å kjøre på. Det blir også lettere å få en god kvalitet av grøftearbeidet og varigheten av gjenlagte grøfter blir større. Ved at det meste av myrsyningen har skjedd for grøfting og dyrking, vil det også være lettere å planere godt før feltet kalkes og

gjødsles. En god planering er særlig viktig ved grasdyrking for å hindre skade ved isbrann. Forming av overflata slik at overflatevatn renner av til grunnne overflaterenner som ikke hindrer kjøring, kan være fordelaktig.

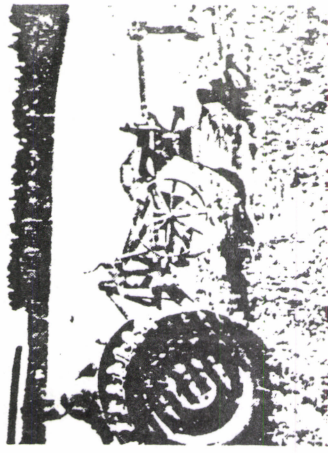
På tett myr som vanskelig slipper vatnet igjennom, vil myrsynkingen bli mindre. Her kan vi legge drenerørene samtidig med at vi graver grøftene og dekke røra med filtermateriale og det lettest gjennomtrengelige øvre torvlaget. Grøfta



Gravemaskin kan brukes til jordblanding til større dybde enn plog og blandetjuil. Den kan også nyttes på felt med stubber og stein.



Til venstre plog for inntil 75 cm dyp pløyning i arbeid på myr over sand. Til høyre ploget sett fra venstre side.



Til høyre

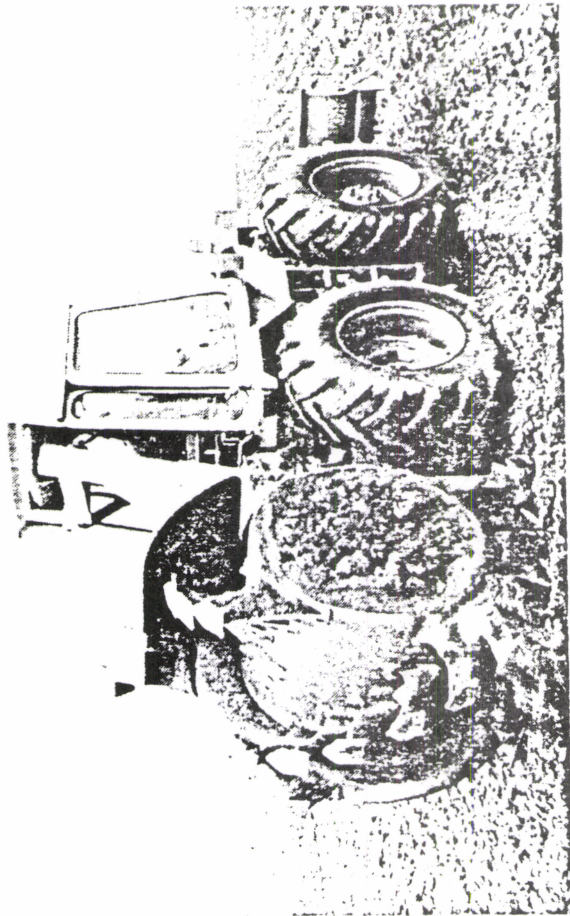
bør ligge åpen vinteren over. Sammenliknet med direkte gjenlegg har dette gitt ca. 20 prosent større vassføring ved middels og stor avrenning. Innfresing av 10 kg kalsiumoksyd i kalksteinsmjøl pr. m<sup>3</sup> torv i grøftmassen har gitt 10—15 prosent større vassføring enn ubehandlet, mens innfresing av 20 kg kalsiumoksyd i brent kalk pr. m<sup>3</sup> torv har økt avrenningen med 20—25 prosent.

Selve jordarbeidingen bør vi helst gjøre med fres og plog. Fres kan nyttes under alle forhold, mens plog særlig er aktuelt å bruke på gras- og skogsmyrer med et forholdsvis tykt sjikt, 15—20 cm, med vel formoldet torv i dagen. Halvbelter på traktoren øker traktorens flyte- og gripeevne og gir økt kapasitet. Ved fresing på myr med seigt vegetasjonsdekke er det fordelaktig med best mulig findeling av dekket ved første gangs kjøring, dvs. kjøring med stort rotorturtall i forhold til kjørefarten. Ved seinere kjøring kan fre-

sen arbeide til større dybde dersom det er ønskelig. To til tre gangers kjøring er vanligvis nok. Arbeidstid blir normalt 1 til 2 timer pr. dekar både ved fresing og pløyning.

Stubber i dagen kan brytes med traktorutstyr, steinklo eller grubber. På stubberike myrer og myrer med stubber i dyperne sjikt kan det være aktuelt å nytte gravemaskin til bryting av stubbene. Er myra forholdsvis grunn over sand, kan det være fordelaktig med full gjennomgraving for stubberydding og samtidig innblanding av sand i myra. Innblanding av sand i myra og i toppsjiktet kan gi flere fordeler. Det vil bl. a. øke myras bæreevne og myra blir varmere og tørker raskere opp om våren. Planteveksten og modninga går også raskere og myra kan derfor nyttes til flere vekster. Myrsvinnet blir redusert etter innblanding av sand. Dyp jordarbeiding av myr og innblanding av sand fra undergrunnen kan foruten med gravemaskin også gjøres med





Blandehjul montert på Rådahls grøftemaskin. Maskinen lager en forholdsvis jamn blanding av de ulike jordsjikt i motsetning til plog som skråstiller de opprinne-  
lige, horisontale lag.

plog eller blandehjul. Vanligvis rekner en et blandingsforhold på 2 volumdeler torv til 1 del sand som ønskelig. Den danske Ølgodplogen kan ploye inntil 75 cm dypt og den kan brukes på myr som er inntil 50 cm dyp. Plogen er trepunktmontert og har en fremre hovedplog og en bakre plog som velter noe av den ovre torva ned i tomfåra.

Blandehjulet er nærmest et 110 cm breitt fresehjul som er montert i stedet for grøftehjulet på Rådahls gravehjulsmaskin. Blandehjulet har en diameter på ca. 220 cm, med en maksimal arbeidsdybde på 1 til 1,2 meter. Kapašiteten vil avhenge av arbeidsdyp, myrtype og hvordan undergrunnen er. Arbeidsstiden vil trolig ligge mellom 2 og 5 timer pr. dekar. Mens ploying gir skråstilte sjikt av torv og sand og fører sand opp på plogsla, gir blandehjulet

jamn blanding av torv og sand i hele dyrkingsjiktet.

En god planering er viktig etter dyparbeiding. Jordarbeiding og blanding av sand og torv etter ploying kan vi gjøre med jordfres.

Ved dyppløyning med Ølgodplogen kan vi rekne med at det går 0,5 til 1,5 timer pr. dekar, avhengig av forholdene. Ved gjennomgraving av myr med selvgående grave-maskin er det i forsøk brukt ca. 5 timer pr. dekar ved graving til et dyp på ca. 65 cm og ca. 11,5 timer pr. dekar med varierende arbeidsdyp fra 0,7 til 2,1 meter.

Sandkjøring av myra er en gammel måte å forbedre myrjorda på. Selv så små mengder som 20 m<sup>3</sup> pr. dekar, dvs. et sjikt på 2 cm, har gitt avlingsøkning over en årrekke og større avlingsøkning etter fre-  
sing enn etter ploying. Små sand-

mengder kan vi spre med sandspreader bak på lastebil eller tilhenger. Spredningen må da gjøres på frossen myr. Større sandmeng-

der virker gunstig på myras bærevne. Det er en fordel at myra er godt planert før vi kjører ut sanden.

## Overflatedyrking (grunn dyrking)

Dyrkingsforsøk i områder for grovførdyrking har vist at forholdsvis grunn dyrking til ca. 15 cm dybde med fres eller harv gir like store og til dels større avlinger enn ploying til 20 og 35 cm dybde.

Metoden vil i første rekke ha interesse ved dyrking for beite- og slåtteland, bl. a. på steinrik mark med forholdsvis lite stein i overflata, men mye i dypere sjikt, slik at vanlig fulldyrking blir svært kostbar. Til jordarbeidingen kan vi nytte en stor, tung skålharv — i forsøkene ble småkratt malt opp av harva. Ved dyrking av feltene varierte arbeidstida fra 0,6 til ca. 1,1 time pr. dekar.

Busker og kratt på dyrkingsfelt

kan i dag males opp ved hjelp av krattknuser. Ett fabrikkat egner seg bare på steinfri mark. Landbruks-teknisk institutt arbeider med tilpassing av et annet fabrikkat slik at det skal kunne brukes også på steinholdig mark.

Ved at vi maler opp krattet blir det lettere å fjerne steinen uten samtidig å kjøre bort matjord og humus.

Grunn dyrking med fjerning av overflatestein og stubber, planering og bearbeiding av et tilfredsstillende såbed slik at vanlige høstemaskiner kan nyttes, gir rett til dyrkingstilskott etter samme regler som for fulldyrking.

## Arbeidsmengder ved dyrking med bulldoser med brei river og Skjerpeplog og lessing av stein med lastemaskin med steingreip

	Grubbing med bulldoser, ploying og ny grubbing		Rydding av stor overflatestein med bulldoser, ploying og grubbing. Stein kjørt til røys
	Stein kjørt til røys	Stein lagt i nedkant av felt	
Steinmengde i m <sup>3</sup>	68	87	56
Arbeidstid i timer pr. dekar			
Bulldoser .....	6,0	6,5	4,8
Lastemaskin .....	2,8	1,5	2,5
Dumper, selvgående ..	1,2	0,1	0,6
Traktor med tilhenger	3,2	1,5	0,3
Lastebil .....	3,0		3,3

### Nydyrking med Brøyt X2B gravemaskin

- Dyrkingsmåte 1: Stein fra to teiger lagt i ranke ved dyrking, seinere bortkjørt med en traktordumper og to lastebiler, lessing med gravemaskin.
- » 2: Direkte lessing i traktordumper ved dyrking.
- » 3: Stein fra tre teiger i sidehelling samlet i fallbrott.
- » 4: Stein fra tre teiger i sidehelling og en på flat mark samlet i fallbrott og gravd ned.

Dyrkingsmåte	Steinmengde i m <sup>3</sup> pr. dekar	Arbeidstid i timer pr. dekar				
		Gravemaskin		Bulldoser	Transportutstyr	
		Graving	Lesing		Dumper	Lastebil
1 (svak helling)	35	4,9	1,4		1,4	2,6
2 (svak helling)	65	7,2			8,0	
2 (stigning)	97	8,3			9,0	
2 (fall)	119	9,1			9,6	
2 (stigning)	122	10,2			10,8	
3 (sidehelling)						
1. teig	77	7,2				
2. teig	154	9,2				
3. teig	231	11,5				
Gjennomsnitt for tre teiger	77	9,3				
4 (gjennomsnitt for fire teiger)	77	7,9		0,1		
Nedgraving av stein, fylling og planering	77	3,1		0,9		

\*) Bulldoser ble for en del brukt til sammenlikning med gravemaskin til å skyve stein over teig 2 og 3 og videre til ifylling av stein i grøfta og til utkjøring og planering av oppgravd masse.

### Sammenlikning av ulike dyrkingsskuffer for Brøyt X2B gravemaskin ved dyrking av skogsmark — l ø s m ø r e n e

Kjøter	Skuffetype	Kapasitet (ca)		Arbeidstid i timer pr. dekar, total tid	Steinmengde, m <sup>3</sup> pr. dekar (ca)
		m <sup>3</sup> pr. timen netto gravetid	m <sup>3</sup> pr. time total tid		
A	I	14,2	12,1	9,96	121
A	II	18,4	15,0	9,35	141
A	III	22,9	18,9	8,25	156
B	I	11,8	9,3	13,47	125
B	II	14,8	13,3	13,20	175

Skuffetype I : 1 meter brei med tre spiler.

» II : 1,3 meter brei dyrkingsskuffe med 52 cm lange oppbøyde gravetenner.

» III: 1,3 meter brei dyrkingsskuffe med 60 cm lange rette gravetenner.

### Eksempler på kapasitet i m<sup>3</sup> pr. time rein lessetid og total tid ved lessing av stein på nybrottsfelt

Lesseutstyr	Michigan 125 hjullaster	International 150 beltelaster	Brøyt X2B gravemaskin, 1,5 m brei skuffe
Lastebil	38,6		36,2
Traktordumper	64,4		54,5
Moi anleggstilhenger		75,9	
BM Volvo Dr 800 dumper		70,7	
Gjennomsnitt for total lessetid	28,2	47,2	26,1

Ved lessing med Brøyt X2B med 1,3 meter brei spileskuffe ble kapasiteten ved lessing av stein kjørt sammen med bulldoser 44 m<sup>3</sup> pr. time total tid. Samtidig ble steintomta dyrket. Transportutstyret var Mol D1 dumper og Moi anleggstilhenger.



## Eksempel på kostnads kalkyle ved dyrking av morenejord

Feltet grøftes på forhånd, rørene henger som rommer ca. 3 m<sup>3</sup>. legges og dekkes med sagflis og Steinrydding etter dyrking med torv (samlet grøftelengde 125 meter pr. dekar). Grøftene fylles med steinsamler, deretter to gangers bruk av steinrive og steinsamler (alt etter grundig harving). Det er dyrking. Det er reknert med å fjerne ca. 100 m<sup>3</sup> stein ved grovdyrking. Det er reknert med å fjerne 40—50 m<sup>3</sup> stein pr. dekar ved etterarbeidet. ingen. Steinen kjøres bort med firehjulsdreven traktor og ståltill

Gravemaskin til dyrking . . . . .	kr 150,—	pr. time
Traktor med tilhenger for transport av stor stein . . . . .	» 75,—	» »
Traktor med steinsamler . . . . .	» 120,—	» »
Traktor med steinrive . . . . .	» 100,—	» »
Manuelt arbeid . . . . .	» 30,—	» »
<b>Grøfting:</b>		
Graving . . . . .	kr 3,—	pr. meter
Rør . . . . .	» 2,—	» »
Dekkmateriale . . . . .	» 1,—	» »
Legging . . . . .	» 1,20	» »
	kr 7,20	pr. meter × 125
	kr 900,—	
<b>Grovdyrking:</b>		
Gravemaskin: 8 timer à kr 150,—	kr 1 200,—	
Transport: 8 timer à kr 75,—	» 600,—	kr 1 800,—
<b>Etterarbeid:</b>		
1. gangs harving + steinsamler + transport . . . . .	kr 300,—	
2. gangs harving + steinrive + steinsamler + transport . . . . .	» 150,—	
3. gangs harving + steinrive + steinsamler + transport . . . . .	» 150,—	kr 600,—
<b>Pr. dekar</b>	<b>kr 3 300,—</b>	

## Prøvemeldinger som kan fås hos Landbruksteknisk institutt, 1432 As-NLH

Nr.	
306	Prøve med Kvernelands grubber
420	Prøve med Mads Amby 11-tinds djupharv
421	Prøve med Vibro-Flex 13-tinds djupharv
422	Prøve med Stegstad HD 120, 11-tinds djupharv
344	Prøve med Rock-O-Matic steinsamler modell 546 N
346	Prøve med Hylleberg Dominant steinsamler
373	Prøve med Stonehater steinsamler
374	Prøve med stor steinsvans, transportrive for stein
380	Prøve med Tokvam steinsamler
418	Prøve med Kverneland steinsamler
419	Prøve med Kverneland sideleggende steinrive
388	Prøve med Maletti type PCV3/150/S jordfreser for firehjulstraktor
390	Prøve med FN-160 jordfreser for firehjulstraktor
428	Prøve med Agrator UR-1600 jordfreser for firehjulstraktor
350	Prøve med Moi 7 tonns anleggstillhenger

- Det blir gitt økonomisk tilskott til nydyrking
- Nærmere opplysninger kan du få på jordstyrekontoret



## JORD, JORDKULTUR OG GRØNTAREALER

En kort samling av synspunkter

Av

Arnor Njøs

Institutt for jordkultur, 1432 Ås-NLH

### Innledning

Jordkultur omfatter istandsetting og vedlikehold av jorda for planteproduksjon. Istandsetting av rotbed og såbed er nødvendige tiltak for start og utvikling av vekstene, men har også stor betydning for vekstenes konkurransevne og overlevingssevne. Vann og næringsstoffer er produksjonsfaktorer som vi kan påvirke.

Hvis vedlikeholdet skal være lite, må jorda ha en viss evne til selvregulering. Det kreves at lagringsevnen for vann og næringsstoffer er stor nok til å stå imot perioder med underskudd, og til å lagre et overskudd. Men når det gjelder vann, kan overskuddet bli altfor stort i forhold til lagret, og jorda bør derfor ha stor nok transportevne til å kvitte seg med overfløydige mengder. Her kommer imidlertid det problemet til, at når vannoverskuddet går ut gjennom jorda, får vi utvasking av næringsstoffer, særlig av de som er lettløselige. I store deler av Norge er næringstilgangen ofte mer begrensende for planteveksten enn vanntilgangen. Det gjelder særlig kystområdene. Samtidig er dreneringen et problem på den tette jorda. På Østlandet og Sørlandet er det vannmangel om forsommeren og vannoverskudd om høsten og tidlig på våren. I de nordlige og høyereliggende områdene er veksttida kort, og temperaturen samtidig svært begrensende.

### Bruksegenskaper for jord i forhold til humus (mold)-innhold og kornstørrelse

#### 1) Stigende humusinnhold

Stor lagringsevne for nyttbart vann og næringsstoffer.

Stabil jordstruktur

Nedsatt bæreevne

Nedsatt energibehov for jordarbeiding

Rask oppvarming

## 2) Stigende leirinnhold

Stor lagringsevne for næringsstoffer

Middels lagringsevne for nyttbart vann

Liten luftveksling

Våt: Plastisk, liten bæreevne

Tørr: Hard, stort energibehov til jordarbeiding

Fuktig: Sprø, smuldrer ved arbeiding .

Må dreneres, både ved grøfting og regulert overflateavrenning.

## 3) Stigende siltinnhold

Stor lagringsevne for nyttbart vann

Liten lagringsevne for næringsstoffer

Liten luftveksling

Langsom oppvarming

Erosjonsrisiko

Må dreneres

## 4) Stigende sandinnhold

Liten lagringsevne for vann og næringsstoffer

Rask luftveksling

Sjøldrenert

Stor bæreevne

Rask oppvarming

## 5) Spesielle problemer for torvjord

### a) Mosetorv

Svært liten bæreevne

Isolering mot varme (kald jord)

For sterk uttørking av topplaget i tørkeperioder (men kan være bra som dekklag på leirjord i etableringsfase)

Mangel på mikronæringsstoffer

Må kalkes

### b) Sterkt omsatt torv ("brenntorv")

Svært liten vannledningsevne

- tett jord, vanskelig å drenere

Liten luftveksling

Kald jord

Liten bæreevne

## Tiltak

### 1) Moldfattig leirjord

#### a) Drenering

Liten grøfteavstand. Grusfylling i grøftene. Grubbing på tvers av grøftene, eventuelt med grus i grubbespor.

Overflatedrenering (f eks finplanering 1:50). I hellende terreng terrassering, planlagte vannveier

Grøftedybe avhengig av vekst. Gras; Tett avstand, grunnere grøfter.

#### b) Jordforbedring

Matjord

Kloakkslam

Husdyrgjødsel

Torv og bark noe mindre verdi. Må brukes i stor mengde.

Bark må være kompostert.

### 2) Siltjord

#### a) Drenering og erosjonsvern

#### b) Jordforbedring

Humusstoffer (matjord best)

Kalking

#### c) Gjødsling

Magnesium og mikronæringsstoffer

### 3) Sandjord

#### a) Jordforbedring

Leire og humusstoffer

Forsiktig kalking

#### b) På Østlandet - Vanning

#### c) Gjødsling

Magnesium og mikronæringsstoffer

### 4) Torvjord

#### a) Forbedring av bæreevne og varmeledningsevne

Bærelag av grus. sand, leire

Jordblanding med underliggende mineraljord - "spavending"

## b) Drenering

Tett, sterkt omdannet myr: Jordblanding med underliggende mineraljord

Grøfting og overflateforming:

Grusfylte grøfter

Foreløpig grøfting, dvs uttørring og frysing av grøftefyll i løpet av ett år

Kalking av grøftefyll (minst 10 kg brent kalk pr løpemeter)

Grøftedybde: Viktigst at vannet får komme ned til rør, derfor er 50-60 cm dybde i mange tilfelle nok, særlig for grasarealer. Hvis myra er grunn nok, er jordblanding og grøftebunn i mineraljorda en annen mulighet.

## c) Forbedring av kalk- og næringstilstand

Kalking

Mikronæringsstoffer

## 6) Kalkings og næringstilstand på veiskråninger, m m

"Vannsåing" av veiskråninger, m m er en sikker måte for etablering. Men, uten vedlikehold av kalk- og næringstilstanden, ingen varig grønn flate. Nitrogen er ofte en minimumsfaktor. Isåing av vintersterke belgvekster er en forsikring på lang sikt. Kalking av sand-, silt- og torvjord ved etablering er en annen forsikring. Kalkmengdene minst for sandjord, størst for torvjord. Også årlig gjødsling med kastemaskiner bør vurderes.

## 7) Vannbalanse på fjelltomter

Inndeling av fjelltomter i vannhøstings- og vekstsoner er én løsning av vannbalansen. Overflateavrenning fra tak, vei, tett fjelloverflate konsentreres mot jordfylte sprenggrøfter og fyllinger.

# Dyrkingsmedier av bark og barkblandinger

## Undersøkelser av fysiske forhold

Av Knut Solbraa og Arnor Njøs

### A. Innledning.

Kompostert bark har mindre evne til å holde på vann enn torv. Dette kan gjøre det vanskelig å opprettholde et passende forhold mellom vann- og luftfylte porer når barkkompost brukes som vekstmedium med diskontinuerlig overvanning. Undervanning gir ofte for lite vanninnhold i slike medier.

Barkkompost er etter hvert blitt tatt i bruk som vekstmedium eller som andel av vekstmedier i betydelig utstrekning. Det er derfor ved laboratorieforskning undersøkt hvordan vannkapasiteten under forskjellige forhold påvirkes av nedbrytningsgrad, etterbehandling av komposten og innblanding av forskjellige andeler finrevet *Sphagnum*-torv og ferrosilisiumstøv.

Det antas at resultatene av undersøkelsene vil kunne danne grunnlag for fremstilling av passende vekstmedier for forskjellige dyrkingsteknikker i praksis. For enkelhets skyld er uttrykkelige kompost og støv brukt i stedet for barkkompost og ferrosilisiumstøv i det følgende.

I slutten av artikkelen er resultatene av de omtalte undersøkelser diskutert, og konklusjonen som kan trekkes er oppsatt i 6 punkter. En har imidlertid også funnet det riktig å beskrive selve metodikken ved undersøkelsene.

### B. Materiale og metodikk.

To komposttyper er undersøkt. Begge var tilsatt urea og superfosfat før kompostering som for den enes vedkommende varte i 3 måneder. En del av denne typen er siktet på 20 mm sikt med kvadratiske ruter etter kompostering og en del er revet (Winberg barkriver) og siktet. Tre måneder er en vanlig komposteringstid ved praktisk kompostering. Den andre typen er kompostert i ett år og har derved oppnådd en større nedbrytningsgrad og en finere struktur. Tabell 1 viser partikkelfordelingen og tettheten (densiteten) i kg tørrstoff pr. m<sup>3</sup> for de 4 nevnte kvalitetene.

Undersøkelsen omfatter de 4 ovennevnte barktypene, samt blandinger av

Tabell 1. Vektprosent av tørrstoffet fordelt på partikkelstørrelser og tetthet for de undersøkte kompostkvalitetene.

Partikkelstørrelse i mm.	Tre måneders kompost		Ett års kompost	
	Ubehandl.	Siktet	Revet og siktet	Ubehandlet
> 20	19	0	0	0
20—6	53	41	9	10
6—2	18	40	43	33
< 2	10	19	48	57
Tetthet i kg/m <sup>3</sup>	166	183	198	190

disse og forskjellige mengder av støv og torv.

Torven hadde en fortorvingsgrad på 1 til 2 etter von Post (1922) og var revet før pakking. Den besto i det alt vesentlige av rester etter *Sphagnum*-moser.

Støvet er produsert ved rensing av avgasser fra smelteovnene i et ferro-siliciumverk (Fiskå Verk) og besto i det vesentlige av SiO<sub>2</sub>. Slikt støv er meget finkornet, med 99 prosent av partikkelene mindre enn 0,3 µm. Det har stor spesifikk overflate og stor evne til å absorbere vann. Materialet er utførlig beskrevet av Soelberg (1974).

I alt 20 prøver er undersøkt ved Institutt for jordkultur ved NLH etter metoder som er utarbeidet av De Boodt et al. (1973). Disse gir grunnlag for å bestemme voluminnholdet av luft og vann ved forskjellige drenerings- (dybde) og materialets tetthet ved 10 cm sug med 4 cm materialhøyde. De første bestemmelsene er utført i filtertrakter, de siste i sandtank.

Prøvene er blandet og forbehandlet ved Norsk institutt for skogforskning. Mekanisk sammensetning av kompost og tetthet for samtlige prøver er bestemt samme sted. For en del av de ovennevnte 20 prøvene og for supplerende prøver er dessuten funnet relativt vann- og luftvolum etter metning til karkapasitet, ved undervanning og ved tørking til antatt visningspunkt. Karkapasitet er den største vannmengden som kan lagres i en kartype ved en bestemt vanningsmetode. Disse bestemmelsene ble foretatt etter at 0,55 dm<sup>3</sup> av hvert medium var lagt i 12 cm plastpotter og med 2 gjentak av hver blanding. Ved bestemmelse av karkapasitet ble pottene vannet til gjennomrenning umiddelbart etter fylning, etter 1 og etter 3 døgn. I mellomtiden sto de plastdekket ved dag/natt-temperatur på henholdsvis 17 og 10°C. Bestemmelsene ble foretatt etter

at fritt vann var drenerert ut etter 3. vanning.

Tettheten er beregnet ut fra komponentenes tørrstoffinnhold og volumet av blandingen med opprinnelig vanninnhold (50—60 vektprosent i kompost og torv, 5 prosent i støv) etter utlegging av et lag på 11 cm tykkelse. Den beregnede tettheten avviker ubetydelig fra tetthet målt i henhold til Norsk Standard nr. 2890. Volumprosent fast materiale er beregnet ut fra tørrstoffinnholdet av hver komponent og en materialtetthet for kompost og torv på 1,5 og for støv på 2,2 kg/dm<sup>3</sup> (Soelberg 1973).

Etter såling av raigras i pottene ble det vannet i til 3 ganger i uken etter antatt behov i en 4-ukers periode. Volumprosent vann og luft er beregnet ut fra mediens nettovekt og startvolum for tidspunktene 8 og 12 døgn etter siste vanning. Det antas at visningspunktet var nådd for mediene med de minste torvmengdene etter 12 døgn.

Etter høsting av grasen og tørking ved 55°C ble pottene i serien med 3 måneders kompost plassert i vann som sto 0,5 cm over bunnen. Mediets vekt ble deretter registrert etter 5, 24, 48, 72 og 144 timer. Ved avslutning ble innholdet i hver potte delt i 2 like høye deler, veiet og tørket ved 55°C før ny veiing. På grunnlag av disse observasjonene er det relative volumet av vann og luft beregnet for hele mediet etter de angitte tidsrommene og for øvre og nedre del etter 144 timer.

#### C. Resultater.

Det er tre forhold som er av særlig interesse, det første angår de forskjellige mediens evne til å holde en passende mengde av vann og luft under aktuelle dyrkningsforhold, det andre dreier seg om hvor raskt mediene er i stand til å ta opp og fordele vann etter tørking og det tredje om hvordan resultatene av de benyttede un-

dersøkelsesmetodene stemmer overens. Med tanke på denne inndelingen er resultatene presentert som følger.

**Overvanning til karkapasitet i pletter.** Tallene i parentes gjelder en prøve som var spesielt tørr ved start og som derfor ikke tok opp vann så raskt som fuktigere materiale. De benyttede støv- og torv- mengdene økte ikke blandingens volum

**Tabell 2. Tetthet og volumprosent vann og luft etter metning til karkapasitet av kompost — støvblandinger.**

Støv- mengde i kg/m <sup>3</sup>	Tre måneders kompost				Ett års kompost			
	Tetthet i kg/m <sup>3</sup>		Volumprosent		Tetthet i kg/m <sup>3</sup>		Volumprosent	
	Tørr	Fuktig	Vann	Luft	Tørr	Fuktig	Vann	Luft
0	170	620	45	44	190	380	29	58
27	190	650	46	43	220	620	40	47
54	220	680	46	43	240	(590)	(35)	(52)
81	250	720	47	41	270	750	48	38
108	270	740	47	41	300	780	48	38
135	300	800	50	38	330	750	43	43

ut over kompostvolumet. Store torvmengder ga imidlertid betydelige volumøkninger, og volum etter blanding er derfor tatt med i tabell 3. Det er bare brukt 3 måneders kompost i denne testen. Mens ett års kompost bare tok opp 29 prosent vann, var innholdet i 3 måneders kompost 45 prosent. Dette skyldes vesentlig at den eldste komposten hadde et stort innhold av kark-

**Tabell 3. Relativ volumøkning etter blanding, tetthet og volumprosent vann og luft etter metning til karkapasitet av kompost-torvblandinger.**

Torv- mengde i dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Volum- økning i %		Tetthet i kg/m <sup>3</sup>		Volumprosent	
	i		Tørr		Vann	
	Tørr	Fuktig	Tørr	Fuktig	Vann	Luft
0	0	0	170	620	45	44
50	0	0	170	670	50	39
100	0	0	170	710	54	35
150	0	0	180	750	57	31
200	1	1	180	780	60	28
400	25	25	150	780	63	27
600	38	38	150	830	68	22
Ren torv	—	—	60	400	42	54

bark med liten vannkapasitet, mens kortere komposteringstid gir en større andel av vevstyper som raskt tar opp vann. Ved praktisk bruk av slik kompost som vekstmedium foregår dere omdannelse meget langsomt, slik



at volumet opprettholdes over et langt tidsrom.

Vanninnholdet økte til henholdsvis 48 og 50 prosent etter støvinnblanding. Mens ett års kompost lot til å få et maksimalt vanninnhold med 80 til 100 kg støv pr. m<sup>3</sup>, økte vanninnholdet med støvmengdene opp til maksimal dosering i 3 måneders kompost. For denne kvaliteten ga imidlertid 50 dm<sup>3</sup> torv samme vanninnhold som 135 kg støv, og innholdet økte til 68 prosent med 600 dm<sup>3</sup> torv pr. m<sup>3</sup> kompost. Dette svarer til 22 prosent luftfylte porer og er i mange tilfelle antatt å være i største laget for organiske vekstmedier (se diskusjon).

Det kan være ønskelig med relativt stor tetthet for medier som skal brukes i potteskulturer for at ikke pottene skal velte for lett. Ved støv- og torvinnblanding økte den rå tettheten etter metning fra 620 til henholdsvis 800 og 830 kg/m<sup>3</sup> for 3 måneders kompost og den økte fra 380 til 750 kg etter støvinnblanding i ett års kompost.

De største støvmengdene gjorde mediet klinete og sølte til underlaget ved for sterk vanning. Disse effektene avtok etterhvert, idet det tilsynelatende skjedde en binding av finpartikkelene.

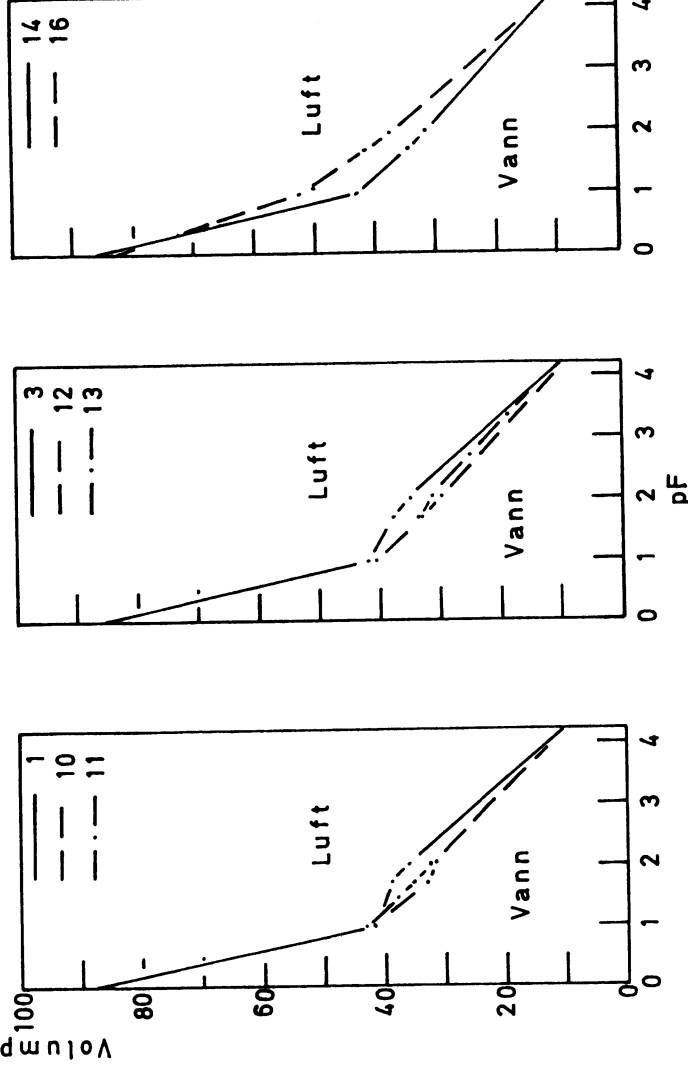
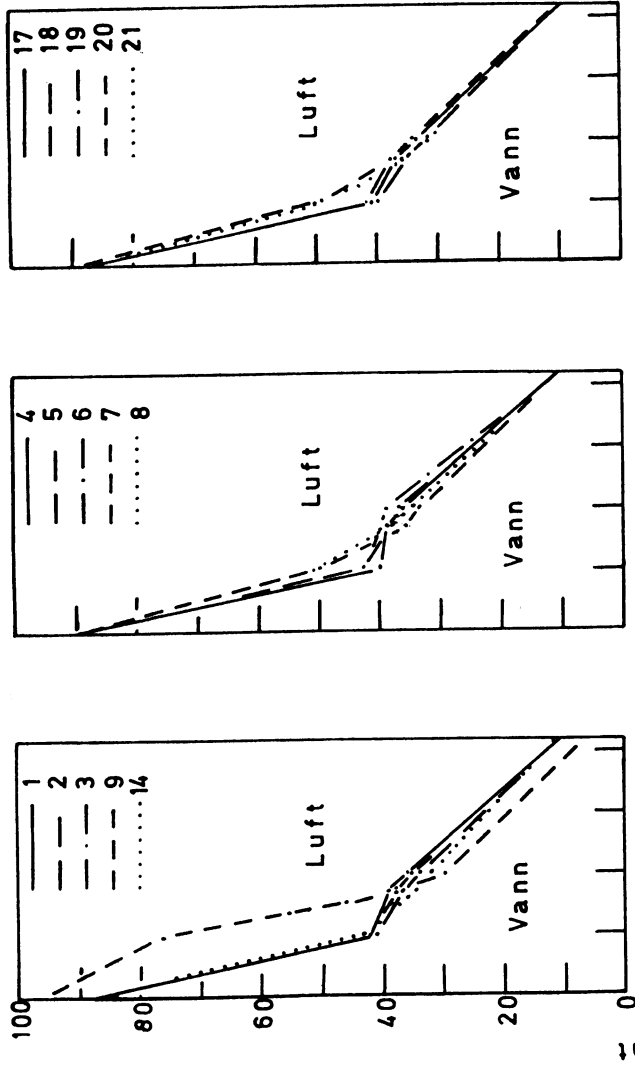
Tørrestoffproduksjonen av planter økte med innblanding av 10 til 20 prosent støv for ett års kompost og med 10 til 50 prosent støv for 3 måneders kompost (Soibraa 1976). Dette resultatet henger sammen med en bedret vannusholdning i en del av veksttiden. Torvinnblanding i 3 måneders kompost økte produksjonen med maksimalt 130 prosent, vesentlig fordi største torvinnblanding ga vann nok til en rimelig vekst også det meste av tørkeperioden. På grunn av noe forskjellige temperaturforhold er økningene for ett års og 3 måneders kompost ikke sammenlignbare.

### Vann- og luftinnhold ved forskjellig dreneringssug.

I figur 1 er vist uttøringskurver for de ulike barktypene og barkblandinger, samt torv. Det er ganske tydelig at torv (9) har mye større volum av porer som avgir vann i området pF 1 (10 cm sug) til pF 2 (100 cm sug) enn kompost. Ser vi på torvtilsetninger til kompost, slår ikke torvegenskapene igjennom før ved tilsetninger av 400 og 600 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (7, 8, 20, 21). Tilsetninger av støv (10, 11, 12, 13) økte vanninnholdet i området 10 cm sug til 100 cm sug. Videre ser det ut til at ett års kompost (14, 16) hadde større vannmengde i området 10 cm sug til 100 cm sug enn 3 måneders kompost. Volumprosent luft ved 10 cm sug og ved 100 cm sug går fram av tabell 4. Det er i samme tabell vist vanninnhold ved 15 bar (pF 4,2) etter maling av prøvene og i området 10 cm sug — 100 cm sug, samt totalt porevolum.

Virkingen av torvinnblanding på luftvolumet ved 10 cm sug er tydelig først ved de store torvmengdene 400 og 600 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Både torv og støv reduserte luftmengden ved dette dreneringssug. Ved 100 cm dreneringssug førte de store torvmengdene til en viss økning i luftvolumet på 3 til 6 % ved tilsetning til barkkompost (1, 7, 8, 3, 20, 21).

Differansen i vannvolum mellom 10 cm og 100 cm sug er beregnet ved hjelp av måling i sandtank ved 10 cm sug og i filtertrakt ved 100 cm sug. Tabellen gir et enda klarere bilde av disse differansene enn kurvene. Det er vann i dette området som er lettest tilgjengelig for plantene ved dyrking i pottier. Av tallene i tabellen kan en slutte at det var nødvendig å blande inn minst 400 dm<sup>3</sup> torv pr. m<sup>3</sup> for å få noen stor økning i mengden av lett tilgjengelig vann. Også støv økte mengden av lett



Figur 1. Vann- og luftinnhold målt ved forskjellige dreneringssug og beregnet i prosent av totalt volum. De enkelte mediene (1—21) er beskrevet i tabell 4.

Tabell 4. Innhold av luft ved 10 cm og 100 cm dreneringssug, og innhold av vann mellom 10 cm og 100 cm dreneringssug.

Medium	Volumprosent				Porer
	Luft 10 cm	Luft 100 cm	Vann 15 bar*	Vann 10 cm- 100 cm	
1. Tre måneders kompost .....	46	52	10	6	88
2. Som 1, men siktet .....	47	53	10	6	88
3. Som 1, men siktet og malt .....	44	51	10	7	86
4. 1 + 50 dm <sup>3</sup> torv/m <sup>3</sup> .....	49	52	10	3	89
5. 1 + 100 .....	47	52	10	5	90
6. 1 + 200 .....	46	50	10	4	89
7. 1 + 400 .....	40	56	10	16	90
8. 1 + 600 .....	40	56	10	16	90
9. Torv .....	19	65	7	46	95
10. 1 + 50 kg ferrosiliumstøv/m <sup>3</sup> .....	48	57	10	9	89
11. 1 + 100 .....	44	55	10	11	87
12. 3 + 50 .....	45	55	10	10	86
13. 3 + 100 .....	44	53	10	9	85
14. Ett års kompost .....	45	56	11	11	88
16. 14 + 100 kg ferrosiliumstøv .....	32	47	11	15	84
17. 3 + 50 dm <sup>3</sup> torv/m <sup>3</sup> .....	46	53	10	7	87
18. 3 + 100 .....	48	56	10	8	88
19. 3 + 200 .....	46	54	10	8	88
20. 3 + 400 .....	39	54	10	15	88
21. 3 + 600 .....	39	57	10	18	89

\*) pF 4.2.

For 10, 11, 12, 13, 16 er brukt samme tall for Vann 15 bar, som for leddene med ren barkkompost (1, 3, 14).

tilgjengelig vann, og ett års kompost sammen med 100 kg støv pr. m<sup>3</sup> ga omtrent samme mengde som 3 måneders kompost med 400 m<sup>3</sup> torv pr. m<sup>3</sup>.

Tallene for vannmengder kunne ha vært differensiert på enda smalere områder, men det viste seg dessverre at måling ved 10 cm sug i filtertrakt ikke stemte med 10 cm sug i sandtank. For torv var det imidlertid fin overensstemmelse mellom filtertrakt og sandtank (fig. 1, kurve 9 og 21). En har i kurvene beholdt måleverdiene ved 50 cm og 100 cm sug i filtertrakt og forbundet disse punktene med måleverdien for 10 cm sug i sandtank. Årsaken til uoverensstemmelsen i nærheten av metning er ikke klarlagt. Forholdet kan muligens ha sammenheng med bedre kontakt mellom sand og prøve enn mellom ke-

etter 144 timer. Det er interessant at kombinasjonen bark og torv ga vesentlig raskere vannopptak enn hver av materialene alene.

I ren kompost var det en forskjell i vanninnholdet mellom øvre og nedre halvpart av mediet på 13 prosentenheter. Støvinnblanding reduserte forskjellen til mellom 9 og 11 enheter og torv

til mellom 7 og 12 enheter. For ren torv var forskjellen hele 30 enheter. Det er sannsynlig at en forlenget vanningsperiode ville gitt et større totalt opptak og mindre differanser mellom sjiktene spesielt i torv. Relativt vanninnhold i nevnte sjikt er vist i tabell 6 for en del av prøvene.

Tabell 5. Volumprosent vann etter undervanning av kompost — støv- og av kompost-torvblandinger.

Støvmengde kg/m <sup>3</sup>	Vannetid i timer				Torvmengde t <sub>v</sub> /t <sub>u</sub> up	Vannetid i timer			
	5	24	48	72		5	24	48	72
0	14	23	27	27	0	14	23	27	27
27	26	29	30	31	50	11	24	29	31
54	24	29	31	31	100	9	15	29	32
81	30	32	34	35	150	9	21	33	34
108	30	33	36	36	200	10	21	34	36
135	33	35	37	37	400	14	31	38	42
					600	18	39	42	47
Ren torv									
						5	11	16	19
									35

Vanninnhold ved visning i pletter.

Etter tørking i 8 døgn led plantene av tydelig tørkestress i medier av ren kompost og kompost blandet med små

mengder støv eller torv. Etter 12 døgn var bladspissene visne i disse mediene, og bare blandinger med de to største torvmengdene og ren torv hadde fort-

Tabell 6. Volumprosent vann i øvre og nedre del av mediet etter undervanning i 144 timer av blandinger med 3 måneders kompost.

Støvmengde kg/m <sup>3</sup>	Volumprosent		Torvmengde dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Volumprosent	
	Øvre del	Nedre del		Øvre del	Nedre del
0	21	34	0	21	34
27	26	35	50	28	38
54	26	36	100	29	38
81	29	40	150	34	41
108	31	42	200	35	42
135	35	44	400	36	48
			600	43	51
Torv					
				14	44

satt friske planter. På grunn av manglende gjødsling var plantene dårlig utviklet i ren torv og hadde lite vannforbruk. Vanninnholdet i grasets overjordiske del var 74 til 86 vektprosent

for delvis visne og 86 til 89 prosent for friske planter. Tabell 7 viser volumprosent vann i de forskjellige blandningene 8 og 12 døgn etter siste vanning.

får en knust veggene og vannet kommer ut innen rimelig tid. Ved Institutt for jordkultur har det alltid vært problemer med å få likevekt ved trykkekstrasjon i materialer som bark og torv. Det fortsetter å komme en svært liten, men nok så konstant vannmengde fra dag til dag, lenge etter at hovedmengden er ekstrahert.

Ved den biologiske bestemmelsen er det tydelig at det ikke har vært permanent visning etter 8 dager. I tre tilfelle ligger tallene for 12 dager omtrent likt med resultatene for de finmalte prøvene ved trykkekstrasjon, i to tilfelle ligger de høyere, nemlig for torv (9) og stor torvinnblanding (8). Dette viser at det ikke var inntrådt permanent visning — det var nemlig disse prøvene som inneholdt mest nyttbart vann. Ved oppteigningen av kurvene har en brukt resultatene fra trykkekstrasjon av finmalte prøver, og brukt konsekvent 10 volumprosent for alle komposttyper og blandinger så nær som for langtidskompostert bark hvor det er brukt 11. En svakhet er at det ikke var med noen kontrollmåling ved bruk av ferrosiliumstøv. En har likevel tillatt seg bruke samme visnegnese som for kompost. Se tabell 4.

#### DISKUSJON

Denne undersøkelsen tar bare for seg vekstmedienes fysiske egenskaper, og det tas sikte på å finne fram til blandinger som gir passende relasjoner mellom luft- og vannfylte porer under aktuelle dyrkingsforhold. Kjemiske forhold ved bruk av barkprodukter i vekstmedier for planter er diskutert i andre arbeider (Solbråa 1978).

Det aktuelle innholdet av luft og vann i organiske vekstmedier bestemmes i vesentlig grad av forholdet mellom store og små porer, vanningsintensitet, evapo-transpirasjonsintensitet og dreneringsforholdene ved forskjellig dyrkingsteknikker. Ved undersøkel-

ser av et mediums egenskaper er det vanlig å bestemme det relative vann- og luftinnholdet ved definerte ytterpunkter. Disse kan være metning til felt- eller karkapasitet som øvre grense og visnegrensen som nedre grense, samt den vannmengden som kan ekstraheres ved å øke dreneringsuget fra 10 til 100 cm. Denne mengden kan defes i den «lettilgjengelige andelen» (10—50 cm) og «buffringskapasiteten» (50—100 cm) (Verdonck et al. 1974). I dette arbeidet vil vi imidlertid bruke lettilgjengelig om hele området 10—100 cm dreneringsug. Visnegrensen kan i denne sammenheng defineres som den vannmengden som ikke fjernes med et utdrivningsstrykk på 15 bar. Denne mengden regnes å være uttilgjengelig for de vanlige kulturplantene.

Det foreligger en rekke anslag over hvilket luftinnhold som gir tilstrekkelig gassveksling til å tillate god rotvekst i organiske dyrkingsmedier. Disse er satt opp på grunnlag av forsøk med torv. Siden nedbrytningshastigheten, og derved mikroorganismenes oksygenforbruk, kan være større i kompost enn i torv den første delen av dyrkingsperioden, er det grunn til å sette noe høyere verdier for kompost. For planter i rask vekst er det antatt at luftvolumet bør være 40 prosent eller mer (Penningsfeld 1973, Puustjärvi 1973). Ved lavere vekstintensitet, og derved mindre oksygenforbruk, kan luftvolumet reduseres og Puustjärvi (1973) angir minimumsverdier for så- eller stikkmedier til 15 prosent, medier for potteplanter til 20 prosent og for drivbenker til 25 prosent. Andre forfattere angir en nedre grense på 20 (Klougart & Bagge-Olsen 1969, Bik 1973, Guttormsen 1974) eller 10 prosent luft (De Boodt et al. 1972, Bunt 1973), mens Gæsterød (1975) fant 5 prosent for rotting av stiklinger. Verdonck et al. (1974) angir at et godt medium har like store relative volum av luft og

Tabell 7. Volumprosent vann i blandinger av forskjellige komposttyper og støv eller torv. Målinger er utført 8 og 12 døgn etter siste vannning.

Støvmengde kg/m <sup>3</sup>	Ett års kompost		3 mndrs. kompost		Torvmengde dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		3 mndrs. kompost		12	
	8	12	8	12	8	12	8	12	8	12
0	14	9	19	12	0	0	19	12	12	12
27	17	10	20	12	50	50	22	11	11	11
54	17	10	17	11	100	100	21	12	12	12
81	20	11	18	12	150	150	24	12	12	12
108	23	13	16	11	200	200	22	13	13	13
135	22	14	20	14	400	400	24	17	17	17
					600	600	32	17	17	17
					Ren torv		26	16	16	16

Støvinnblanding i den langtidskomposterte barken økte evnen til å holde på plantetilgjengelig vann også i tørkeperioder og reduserer følgelig faren for tørkeskader. Vanninnholdet ved visningspunktet syntes også å øke. Med 3 måneders kompost var det ikke systematiske utslag for støvinnblanding, vann torv økte mengden av tilgjengelig vann. Totalinnholdet ved visning var omkring 12 prosent. Etter 8 døgn var det igjen rundt 7 prosent enheter plantetilgjengelig vann i ren kompost, mens største torvinnblanding økte dette til nærmere 20 prosent av mediets volum. Det forutsettes da at de verdiene som ble funnet etter 12 døgn svarer til vis-

ningspunktet for de mediene hvor plantene delvis var visne. Dette var imidlertid ikke tilfelle i medier med de to største torvmengdene.

Vanninnhold ved teoretisk visnegrense.

Vannbestemmelsene ved 15 bar overtrykk blir vanligvis regnet for å gi et mål for vannmengden ved visnegrensen for vanlige kulturplanter. Ved disse målingene viste det seg imidlertid å være store forskjeller etter forberedning av materialet. I tabell 8 er gitt tall for visnegrensen ved ulike målemetoder.

Tabell 8. Teoretisk visnegrense ved ulike målemetoder.

Medium	15 bar			
	trykk-ekstraksjon		Vektbestemmelse etter	
	uten maling	med maling	8 dager	12 dager
1. Tre måneders kompost .....	20	10	19	12
4. 1 + 50 dm <sup>3</sup> torv/m <sup>3</sup> .....	17	10	22	11
8. 1 + 600 dm <sup>3</sup> torv/m <sup>3</sup> .....	16	10	(32)	(17)
9. Torv .....	11	7	(26)	(16)
14. Ett års kompost .....	22	11	14	9

Effekten av maling var svært stor. Dette skyldes sannsynligvis at en del vann er sterkt hindret i å bevege seg ut av celler i bark og torv. Ved maling

lettilgjengelig vann ved 10 til 30 cm sug, og disse bør være ca. 20 prosent.

Ubehandlet 3 måneders kompost inneholdt ca. 45 prosent luft etter metning til karkapasitet (tab. 2), mens mengden av lettilgjengelig vann var 6 prosent (fig. 1, kurve 1). Luftinnholdet var derfor stort nok for rasktvoksende planter, men vannkapasiteten var så liten at vanning bør skje kontinuerlig eller med korte intervaller. Denne kvaliteten har gitt utmerkede resultater ved dyrking av agurk og tomat med kontinuerlig dryppvanning.

Med andre dyrkingsteknikker som er basert på diskontinuerlig vanning og hvor oksygenbehovet er mindre, er det ønskelig å øke mengden av tilgjengelig vann. Dette kan i noen grad oppnås ved innblanding av ferrosilisiumstøv, men effekten var liten inntil 135 kg/m<sup>3</sup> (tab. 3). Samtidig førte så store støvmengder til at mediet ble klemete og ga utvasking av en del av støvet ved sterk vanning. Dette var imidlertid en relativt kortvarig effekt, og støvet lot til å bli bundet etter et lengre tidsrom.

Innblanding av torv økte vanninnholdet ved kapillær metning proporsjonalt med torvmengden slik at 600 dm<sup>3</sup> torv pr. m<sup>3</sup> kompost ga et vanninnhold på 68 og et luftinnhold på 22 vol.prosentsent (tab. 3). Når pottekulturer holdes mettet en stor del av veksttiden, vil denne innblandingen gi sikkerhet for at luftinnholdet holdes på minimum 20 til 25 prosent. Dette svarer til et innhold av vann som kan ekstraheres med 100 cm sug på ca. 33 prosent. Her bør det skytes inn at det gjennomsnittlige dreneringssuget i pottene var 4 cm. Ved sug på 10 cm var luftinnholdet 40 og lettilgjengelig vanninnhold 16 prosent som også bør kunne aksepteres i mange tilfelle (fig. 1, kurve 8). Mindre torvmengder enn 400 dm<sup>3</sup> pr. m<sup>3</sup> barkkompost ga tildels negative utslag på den vannmengden som tas ut mellom 10 cm og 100 cm dreneringssug og

Ved bruk av tykkere lag (større stige-høyde) eller når det er ønskelig med større vanninnhold, kan det være aktuelt å øke torvandelen. Det må presiseres at denne delen av forsøket startet med tørt (55°C) materiale. Med opprinnelig fuktig materiale vil vannopptaket skje vesentlig raskere, og det antas at det endelige vanninnholdet vil være noe høyere enn tallene viser. Både vannkapasiteten og evnen til å transportere vann fra dypere lag har betydning ved undervanning.

Ved vurdering av metodene må det tas med i betraktningen at De Boodt's metode ikke kan brukes til å undersøke forholdene ved metning til karkapasitet, men er best egnet til å finne verdier ved definerte dreneringssug. Det er også nødvendig å presisere at det lettilgjengelige vanninnholdet betegner mengden etter at en del av vannet som er tatt opp ved metning er brukt opp eller drenert vekst når mediet står i kontakt med et sugende underlagsmateriale. Videre kan plantene overleve i et betydelig tidsrom etter at lettilgjengelig vann er brukt opp inntil visningspunktet er nådd. Etter metning til karkapasitet inneholdt således 3 måneders kompost 19 volumprosent vann som kunne dreneres med 100 cm sug og kompost blandet med største torvmengde 33 volumprosent av slikt vann.

Tilsvarende mengder til visningspunktet var henholdsvis 35 og 58 prosent (tab. 3 & fig. 1, kurve 1 & 8). Dyrkingsforsøket antydte at visningsgrensen lå ved et vanninnhold på 11 til 12 prosent og for å komme ned til dette tallet var det nødvendig å male de undersøkte blandingene. Det ble da funnet verdier på 10 til 11 prosent.

De Boodt's metode ga gjennomgående noe større tettheter (kg tørrstoff pr. m<sup>3</sup>) med ren kompost og med store torvandeler og noe mindre ved små andeler og etter innblanding av støv enn de beregnede verdiene. Dette skyl-

des vesentlig at materialene var vannmettet og at lagtykkelsene bare var 4 cm, mens beregningene er basert på relativt tørre materialer (ca. 50 vektprosent vann) i 11 cm tykkelse. Forskjellene var 10 prosent eller mindre for 15 prøver og mellom 10 og 17 prosent for 5 prøver. Disse bestemmelser er i liten grad referert ovenfor.

## KONKLUSJON

1. Ren barkkompost bør på grunn av liten vannkapasitet bare benyttes som vekstmedium ved kontinuerlig vanning eller vanning med korte intervaller. Luftinnholdet vil alltid være tilstrekkelig i drenerte medier.
2. Ved små dreneringssug (mindre enn 10 cm) eller hyppige vanning kan vanninnholdet i barkkompost økes betydelig ved innblanding av 50 til 200 dm<sup>3</sup> torv pr. m<sup>3</sup>.
3. Ved større sug eller lengre intervaller mellom vanninger bør torvandelen økes f.eks. til 600 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Vanningsintervallene bør fortsatt være kortere enn for ren torv. Luftinnholdet var tilstrekkelig for de fleste kulturer, selv ved kapillær metning.
4. Innblanding av 600 dm<sup>3</sup> torv pr. m<sup>3</sup> barkkompost bør kunne brukes også ved undervanning.
5. I spesielle tilfelle er det aktuelt å øke torvandelen ytterligere.
6. De undersøkte metodene synes, med de anvendte modifikasjonene, å gi jevnførbare resultater som utfyller hverandre.

## LITTERATUR

- Bik, R. A. 1973. Some thoughts of the physical properties of substrates with special reference to aeration. Acta Hort. 31: 149-160.
- Buzi, A. C. 1973. Some physical and chemical characteristics of loamless potplant substrates and their relation to plant growth. M. De Boodt (ed.) Proceedings symposium artificial media in horticulture. Ghent, Belgium. 153 + XIV s.
- De Boodt, M., J. Cappart & O. Verdonck 1972. The utilization of barkwaste in comparison with peat as a substrate for ornamental plants. Proceedings the 4th international peat congress. Oostnam, Finland. Særtrykk 11 s.
- De Boodt, M., O. Verdonck & J. Cappart 1973. Method for measuring the water-release curve of organic substrates. I. M. De Boodt (ed.). Proceedings symposium artificial media in horticulture. Ghent, Belgium. 153 + XIV s.
- Gislærd, H. R. 1975. The influence of temperature and water potential on rooting of poinsettia cuttings (Euphorbia Pulcherrima L. «Ladyn»). Acta Hort. 54: 127-136.

Guttormsen, G. 1974. Effects of root medium and watering on transpiration, growth and development of glasshouse crops. Plant and soil 40: 68-81.

Klougart, A. & O. Bagge-Olsen. 1969. Substratum for container grown plants. Acta Hort. 15: 21-26.

Penningsfeld, F. 1973. Bases of production, examination and use of growth media. M. De Boodt (ed.). Proceedings symposium artificial media in horticulture. Ghent, Belgium. 153 + XIV s.

von Post, L. 1922. Sveriges geologiska undersökningens torvinventering och några av dess hittills vunnna resultat. Sv. Mosskulturför. Tidskr. (1): 1-25.

Pruustjärvi, V. 1973. Physical properties of peat used in horticulture. M. De Boodt (ed.) Proceedings symposium artificial media in horticulture. Ghent, Belgium. 155 + XIV s.

Soeberg, P. 1974. Virkninger på plantevekst når tørrskøv (koloidalt silikatstøv) fra åpne ferrosiliumovner blandes i vekstmediet. Chr. Michelsen Inst., Bergen. 37:74.04. 33 + VIII s.

Solbraa, K. 1976. Vannhusholdning i barkkompost og kompost tilsatt silisiumoksyd og torv. NISK-Ås. Stensil 15 s.

Solbraa, K. 1978. Composting of bark. Part 1. Different bark qualities and their uses in plant production. Medd. Norsk inst. skogforsk. 33. (Manuscript).

Verdonck, O. J. Cappaert & M. De Boodt 1974. The physicochemical and physical properties of horticultural substrates. M. De Boodt (ed.) Proceedings symposium West-European group on the standardization of bark compost in horticulture. Ghent, Belgium. 114 s.

yielded well inn bark compost in these cultivation systems. When saturated to container capacity (drainage equilibrium of growth medium in the container after saturation), the air and water volumes were approximately of the same magnitude, both being around 45 percent, for the bark qualities tested. Additions of 200 dm<sup>3</sup> fine graded *Sphagnum* peat per m<sup>3</sup> of bark compost increased the water content to 60 volume percent at container capacity.

At matric suction of 10 cm or more, measured according to the procedure proposed by De Boodt et al. (1973), larger additions of peat were made to increase the content of easily extractable water (10 cm - 100 cm matric suction). In bark compost the easily extractable water amounted to 6 volume percent, while after a peat addition of 600 dm<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> bark, the content of easily extractable water increased to 16 percent. This peat-bark compost mixture had a reasonably rapid water uptake when the medium was tested under basin cultivation conditions, with a layer of 7.5 cm height above the water level. Average water and air contents were 47 and 43 volume percent, respectively, in this layer.

#### SUMMARY

On account of a limited water storage capacity, composted spruce bark (Norway spruce) is a suitable growth medium in container cultures only under conditions of continuous drip watering or frequent discontinuous watering. Cucumber and tomatoes have

## EROSJON

## NOEN HOVEDPUNKTER

AV

ARNOR NJØS

Jorderosjon er tap av løsmasser på grunn av vann og vind. Erosjon er en landskapsformings-prosess. Andre prosesser som flytter på løsmasser er masseforflytting (skred) og oppløsning (f eks karstdannelse). Betingelse for oppløsning er at nedbøren kan infiltrere løsmassen. Betingelse for vannerosjon er at nedbøren er større enn jordas infiltrasjonsevne, slik at det blir overflateavrenning. Egentlig betingelse: Regnintensitet (mm /time) større enn infiltrasjonshastighet ( mm/time). Vinderosjon avhenger av lufthastighet og jordoverflatens ujamnhhet (råhet). En ujamn overflate med f eks plante- eller steindekke gir stor ujamnhhet og liten vinderosjon. Størrelse av vinderosjon målt til 10 mm/år i f eks "Kansas Dustbowl" rundt 1930. Vannerosjon i semi-aride strøk rundt 1 mm/år. Under tett vegetasjon i Nord-Vest Europa er vannerosjonen rundt  $1 \mu\text{m}/\text{år}$ .

Ved jordverntiltak søker en å begrense erosjonen til 0,4-2 tonn/dekar pr år. Dette svarer til 0,2-1 mm jord. Dette gjelder for semiaride områder. I humide områder bør grensene senkes. Det egentlige målet bør være å redusere erosjon og oppløsning til samme størrelse som forvitringen av fast fjell under løsmassene.

$$W = T + D \quad (1)$$

W = Forvitring, mm/år

T = Erosjon, mm/år

D = Oppløsning, mm/år



Vi har også

$$T = W \cdot P_s \quad (2)$$

$P_s$  = fraksjon av opprinnelig løsmasse som blir tilbake ved erosjon.

For uforvitret fast fjell er  $P_s = 1,0$ . Lavere verdier antyder mer forvitret jord. Vi kan ut fra dette beregne en grense for erosjon

$$T = D \left( \frac{P_s}{1 - P_s} \right) \quad (3)$$

Hvis  $P_s = 0,8$  og  $D = 25 \mu\text{m}/\text{år}$  får vi

$$T = 0,1 \text{ mm}/\text{år}$$

Vi bør ikke i Norge akseptere større erosjon enn  $0,1 \text{ mm}/\text{år}$ . Den vil svare til et tap på 1 m på 10 000 år.

#### Beregning av jordtap ved vannerosjon

Den universelle jordtapsligningen:

$$A = 0,224 \cdot RKLSCP \quad (4)$$

$$A = \text{Jordtap } \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

R = Regnets erosjonsevne

K = Jordas eroderbarhet

L = Hellingslengde-faktor

S = Hellingsvinkel-faktor

C = Jord- og plantekultur-faktor

P = Jordverntiltaks-faktor

Formål:

- 1) Forutsi årlig jordtap fra en skråning med en bestemt markbruk
- 2) Styre valget av jord- og plantekultur, samt jordverntiltak.
- 3) Forutsi endringer i jordtap på grunn av endringer i jord- og plantekultur, samt jordverntiltak.
- 4) Bestemme nødvendig jordverntiltak ved overgang til mer intensiv dyrking.

5) Forutsi jordtap ved annen markbruk enn jordbruk.

Regnets erosjonsevne

$$E = 1,213 + 0,890 \log I \quad (5)$$

E = Kinetisk energi i regnet, kg m/(m<sup>2</sup> · mm)

I = Regnets intensitet, mm/time

EI = Erosjonsindeks, hvor

I = Max 30 min regnintensitet

$$R = \frac{EI}{173,6} \quad (6)$$

For hvert regnvær må vi forutsette at vi har en nedbørskriver.

R for det enkelte regnvær kan da beregnes på følgende måte:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n (1,213 + 0,890 \log I_j) (I_j T_j)}{173,6} I_{30} \quad (7)$$

R = Regnets erosjonsindeks

I<sub>j</sub> = Regnintensitet for et intervall, mm/time

T<sub>j</sub> = Tid for et intervall, timer

I<sub>30</sub> = Max 30 min regnintensitet, mm/time

j = Indeks for det enkelte intervall

n = Antall intervall

R kan i tillegg beregnes for hele året ved å summere opp R for de enkelte regnvær og regne ut et middel over en 30-årsperiode. Dråpestørrelsen i et regnvær fortsettes ikke å øke ut over intensiteter på mer enn 76,2 mm/time (= 3 in/hour). Derfor brukes denne intensiteten som en grense. Likedan settes en grense på 63,5 mm/time for I<sub>30</sub>.

Jordas eroderbarhet, K

Nedenfor er gitt noen verdier av K.

Jord	Organisk materiale		
	<0,5%	2%	4%
Sand	0,05	0,03	0,02
Fin sand	0,16	0,14	0,10
Siltig sand	0,35	0,30	0,24
Lettleire	0,38	0,34	0,29
Siltig lettleire	0,48	0,42	0,33
Silt	0,60	0,52	0,42
Mellomleire	0,28	0,25	0,21
Siltig mellomleire	0,37	0,32	0,26
Stiv leire		0,13-0,29	

Det er nokså tydelig at siltrik jord er mest utsatt for vannerosjon.

Hellingslengde-faktor L

Denne faktoren er utviklet i forhold til en standard hellingslengde på 22,13 m.

$$L = \left( \frac{x}{22,13} \right)^m \quad (8)$$

L = Hellingslengde-faktor

x = Lengde av aktuell skråning, m

m = Eksponent

m = 0,5 hvis hellingsgrad >5%

m = 0,4 " " <5% og >3%

m = 0,3 " " <3% og >1%

m = 0,2 " " <1%

Hellingsgrad-faktoren, S

Følgende formel brukes til beregning av hellingsgrad-faktoren, S

$$S = \frac{0,43 + 0,30 s + 0,043 s^2}{6,613} \quad (8)$$

s = hellingsgrad, %

Beregningen av S har tatt utgangspunkt i en standard hellingsgrad på 9%. Det kan også beregnes en kombinert LS:

$$LS = \left(\frac{x}{22,13}\right)^m (0,065 + 0,045 s + 0,0065 s^2) \quad (9)$$

### Jord- og plantekultur-faktor, C

Noen eksempler på jord- og plantekultur-faktoren, C, er gitt nedenfor.

Vekst	Produksjonsnivå	
	Høyt	Moderat
Permanent brakk	1,00	1,00
Mais, brent rester, pløyd høst	0,54	0,62
" , rester på overfl., pløyd vår	0,38	0,48
" , direkte såing, 70-50% rester	0,11	0,18
Eng, gras + belgvekster	0,004	0,010
Vårhvete, halm på overfl., pløyd høst	0,23	
" , stubbarbeiding, 140 kg halm/daa	0,12	
Høsthvete, " " " "	0,10	
Hvete - Eng 1 år av hver	0,056	

### Jordverntiltak-faktor, P

Noen tall for ulike jordverntiltak er gitt nedenfor.

Hellingsgrad	Kote- arbeiding	Stripedyrking	
		på kotene	Terrassering
1-2%	0,60	0,30	0,12
3-8%	0,50	0,25	0,10
9-12%	0,60	0,30	0,12
13-16%	0,70	0,35	0,14
17-20%	0,80	0,40	0,16
21-25%	0,90	0,45	0,18

P-faktoren viser forholdet mellom de tiltakene som er gitt i tabellen og vanlig opp-ned arbeiding.

### Grøfte- og kanalerosjon

Ei erosjonsgrøft defineres som en utgraving som ikke kan jamnes med vanlige jordarbeidingsredskaper. US Soil Conservation Service bruker følgende formel for beregning av grøftevirkningen.

$$R = (5,3 \cdot 10^{-3}) A^{0,46} \cdot P^{0,20} \quad (10)$$

R = Årlig utgravd lengde, m

A = Dreneringsareal ovenfor grøfteenden, m<sup>2</sup>

P = Total nedbør for døgn med over 12,7 mm nedbør

### Vinderosjon

Vindhastighet, m m.

Vindhastighetsprofilen over en flate kan beskrives slik:

$$u_z = (2,3/k) U \log (z/z_1) + u_t \quad (11)$$

$u_z$  = Hastighet i høyde z (z < 1,5 m) over en flate

U = Skjærhastighet

k = von Kármán's konstant, omtrent = 0,4

$z_1$  = Høyde hvor hastigheten er terskelhastigheten

$u_t$  = Terskelhastighet, dvs starthastighet for partikkelbevegelse

Bagnold (1941) utledet en formel for sandflukt:

$$q = c \sqrt{\frac{d}{D}} \frac{\rho}{g} u^3 \quad (12)$$

q = Vekt av sand som beveger seg langs en vei med 1 enhet bredde i 1 tidsenhet

d = Middels korndiameter, mm

D = Standard " , 0,25 mm

$\rho$  = Tetthet for luft

g = Tyngdeakselerasjon

c = Empirisk konstant

U = Vindens skjærhastighet

Det er vanskelig å skjønne begrepet skjærhastighet, men vi får si at det er forskjellen i hastighet mellom to lag. Terskelhastigheten for partikkelflytting kan beregnes fra følgende formel:

$$u_T = A \sqrt{\frac{\sigma - \rho}{\rho} g d} \quad (13)$$

- $u_T$  = Terskelhastighet  
 $A$  = Eksperimentell konstant  
 $\sigma$  = Korntetthet  
 $\rho$  = Lufttetthet  
 $g$  = Tyngdeakselerasjon  
 $d$  = Korndiameter

Det er blitt funnet at  $A$  vokser når  $d$  er mindre enn 0.2 mm. Dette betyr at svært fin sand og silt vil kreve høyere terskelhastighet. Når det gjelder sandmengder som blir flyttet pr tidsenhet, har det vist seg at ligning (12) som sier at mengden av transportert jord er proporsjonal med 3.potens av skjærhastigheten, under visse forhold kan forenkles, f.eks. ved å sette inn hastigheten i 1.5 m høyde for skjærhastigheten. En slik forenkling vil imidlertid sjelden holde hvis det er variasjon av kornstørrelser og overflateforhold. Normalt må en derfor bestemme skjærhastigheten i forsøk i vindtunnel.

Potensiell vinderosjon er avhengig av flere faktorer:

$$E = f(I, K, C, L, V) \quad (14)$$

$E$  = potensiell erosjon, tonn/dekar pr år

$I$  = jordas eroderbarhet

$K$  = " ujamnhhet

$C$  = lokalklima

$L$  = lengde av åpen flate uten le i vanlig vindretning

$V$  = vegetasjonsdekke i f.eks. tonn/dekar

Når det gjelder  $I$ , jordas eroderbarhet har det blitt funnet at den avtar når mengden av klumper eller partikler større enn 0.84 mm øker. Dette ble funnet av Chepil i 1950 i vindtunnel.

Det har vist seg at når leir+silt utgjør mindre enn 10% av jordmassen, eroderer jorda lett, noe mindre lett mellom 10+15% og



vanskelig over 25%.

Vinderosjon foregår på ulike måter. Små partikler (mindre enn 0,1 mm) bæres i suspensjon. Store partikler (aggregater) ruller. Middelsstore partikler (aggregater) hopper. Den siste prosessen kalles ofte saltasjon. Middelsstore partikler som faller ned vil treffe overflaten ved en vinkel rundt  $10^{\circ}$  og enten hoppe opp på nytt eller få andre partikler til å hoppe i lufta. Terskelhastigheten kan bli nedsatt ved denne hoppe-prosessen. Store aggregater kan og bli knust og store partikler og aggregater kan bli puffet bortover på grunn av slag fra hoppende partikler. Saltasjon er den viktigste av vinderosjons-prosessene.

#### Tiltak mot vann- og vinderosjon.

Vi kan sette opp en liste over en del tiltak mot vann- og vinderosjon. Vann-erosjon kan da deles opp i to: regnsprut og avrenning, og både vann- og vinderosjon kan deles i tap ved avskalling og transport.

#### Jordkulturtiltak samt

#### jordvernstiltak mot erosjon e. MORGAN (1980)

Tiltak	Regnsprut		Virkning mot Avrenning		Vind	
	A	T	A	T	A	T
<u>Jordkultur</u>						
Dekking overflate	*	*	*	*	*	*
Ujamm overflate	-	-	*	*	*	*
Hull-lagring <sup>1)</sup>	+	+	*	*	-	-
Økt infiltrasjon	-	-	+	*	-	-
Kunstgjødsel	+	+	+	*	+	*
Husdyrgjødsel	+	+	+	*	+	*
Drenering	-	-	+	*	-	-

Jordverntiltak

	Regnsprut		Avrenning		Vind	
	A	T	A	T	A	T
Kotepløying, rygger på kotene	-	+	+	*	+	*
Terrasser	-	+	+	*	-	-
Lebelter	-	-	-	-	*	*
Vannveier	-	-	+	*	-	-

-	Ingen virkning	A	Avskalling, knusing
+	Middels "	T	Transport
*	Stor "		

1) Hull lagring = lagring av vann i fordypninger i f.eks. pløgsle.

Desember 1981

Arnor Njøs



