

# A HOMOKTALAJOK VÁLTOZÓ FIZIKAI SAJÁTSÁGAI

KLIMES-SZMIK ANDOR

a mezőgazdasági tudományok kandidátusa

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Némely fizikai jellemző, mint pl. a higroszkóposág a talaj anyagi összetételével (a talaj szövetével, az agyagásványok minőségével, a szervesanyag- és mésztartalommal) áll szoros összefüggésben. A fizikai talajjellemzők zöme azonban a talaj szilárd részecskéinek, illetve szerkezetes talajokban a morzsa-kötelékeknek térbeli elrendezésétől függően alakul. Ide főként a talaj porozitásviszonyai és a talaj vízgazdálkodását alapvetően meghatározó fizikai sajátságok (a talaj vízkapacitása, vízáteresztése, levegőzöttsége, elpárologtató képessége stb.) tartoznak. Ezeket nevezzük a talaj változó fizikai sajátságainak, mert a talaj szerkezeti állapota részben természetes folyamatokban (a talaj váltakozó nedvesedése és száradása folyamán), részben pedig emberi tevékenység (talajművelés, fizikai talajjavítás) következtében változik.

A fizikai talajsajátságoknak ez a beosztása nem új keletű; 'SIGMONDTól (1934) származik. Ő azonban a talaj porozitásviszonyait és az ezekkel szorosan összefüggő fizikai sajátságokat, a földművelés akkori szintjének megfelelően, a szántott réteg alatti talajban az állandó sajátságok csoportjába sorolta. A teljes talajszelvény jellemzésében tehát alárendelt szerep jutott a fizikai jellemzők változásai kutatásának. Alapvetően a talaj szemcseösszetétele és fizikai sajátságai közötti összefüggéseket vizsgálták.

Az ember azonban a mezőgazdaság gépesítésének rohamos fejlődése következtében egyre nagyobb mértékben tudja a talaj termékenységének fizikai tényezőit befolyásolni és ez ma már egészen mély talajrétegekre is kiterjedhet. A talaj kedvezőtlen adottságait a termőhelyen ma már nemcsak kémiai, de fizikai vonatkozásokban is egyre nagyobb mértékben tudjuk megváltoztatni.

Ennek következtében a korábban állandónak tekintett fizikai talajsajátságok zöme átkerül a változó, illetve megváltoztatható sajátságok csoportjába és a változások törvényszerűségeinek ismeretére is egyre nagyobb szükség van.

A fizikai talajsajátságok változásainak kutatásában alapvető problémaként jelentkezik az a kérdés, hogy milyen paraméter függvényében célszerű a változásokat jellemezni. Ennek a paraméternek többé-kevésbé két követelményt kell kielégítenie: 1. egyértelműen kell jellemeznie a természetes, illetve az emberi beavatkozások nyomán létrejövő fizikai változások lényegét képező tömörülés (illetve tömörítés) és lazítás mértékét, 2. alkalmasnak kell lennie különböző

szemcseösszetételű talajokra kapott eredmények egymás közötti összehasonlítására. Ezeket a követelményeket leginkább a talaj térfogatsúlya elégíti ki.

A különböző természeti képződmények között a viszonylag legegyszerűbb anyagrendszereknek a homokokat és homoktalajokat tekinthetjük. Ezek olyan szemcsehalmazok, amelyekben a szilárd részecskék lazább vagy tömöttebb térbeli elrendeződése közvetlenül összefügg a térfogatsúllyal, mivel szerkezeti elemeket nem tartalmaznak. Különböző genetikai típusba sorolható ilyen anyagrendszereknél várható a változó fizikai talajsajátságok összefüggése a térfogatsúllyal a leginkább általánosítható formában.

Az ismertetett szemlélet alapján tehát egyes fizikai sajátságok változásának törvényszerűségeit homoktalajokon vizsgáltuk. A porozitásviszonyokat és az ezekkel összefüggő néhány vízgazdálkodási sajátságot jellemeztünk a talaj térfogatsúlyának függvényében.

### Vizsgálati anyag és módszerek

Két nagy homoktájunkról, a Duna—Tisza közéről és a Nyírségből származó, különböző genetikai típusú, összesen mintegy harminc homoktalaj szelvény fizikai jellemzőinek számszerű értékét határoztuk meg. A mintaanyagban vázталajokon kívül nagyobb részt mezősegi jellegű homoktalajok, de a kovárványos barna és agyagbemosódásos barna erdőtalajok, továbbá egy-kéti réti homoktalaj is képviselve volt. Meszes és mésztelen homoktalajokat egyaránt vizsgáltunk. Szikes homoktalajokra azonban nem terjesztettük ki vizsgálatainkat.

A vizsgált talajok néhány jellemző adatát a-leiszapolható rész (L. r.) %-os mennyisége alapján csoportosítva az I. táblázat tartalmazza. A feltüntetett  $hy_1$  és szervesanyag tartalom felső határértékei az A-szintre, az alsók pedig a C-szintre vonatkoznak. Természetesen ennek nagyjából a fordítottja áll a térfogatsúly (d) határértékeire.

A  $hy_1$  középértékek (k. é.) jól egyeznek a Talaj- és trágyavizsgálati módszerkönyv (1962) 19. táblázatán feltüntetett megfelelő értékekkel. Az idézett

### I. táblázat

*A vizsgált homoktalajok néhány jellemző adata*

L. r. %	Higroszkóposság		Szervesanyag tartalom		Térfogatsúly	
	$hy_1$	k. é.	Sz. a., %	k. é.	d	k. é.
< 5	0,16—0,35	0,25	0,10—0,80	0,25	1,25—1,70	1,50
5—10	0,30—0,60	0,45	0,10—1,25	0,65	1,25—1,65	1,45
10—15	0,35—1,40	0,80	0,65—1,80	1,25	1,30—1,55	1,45
15—25	0,55—1,30	0,95	0,50—2,15	1,40	1,20—1,60	1,40

táblázat csak közelítő összefüggést tüntet fel a L.r. mennyisége és a  $hy_1$  érték közötti összefüggésre. A szervesanyag befolyását erre az összefüggésre ezen a táblázaton — céljának megfelelően — nem is lehetett figyelembe venni. A vizsgált homoktalajokra az alábbi egyenletet találtuk érvényesnek:

$$hy_1 = 0,087 + 0,025 \text{ L.r.} + 0,279 \text{ Sz.a.} \quad n = 80 \quad R = 0,902. \quad (1)$$

$n$  = az adatok száma.

Mindkét parciális regressziós koefficiens  $P = 0,1\%$ -os szinten szignifikáns.

Az (1) egyenletből jól látható, hogy a szervesanyag mennyisége a homoktalajok higroszkóposságát jelentősen befolyásolja.

Bár a vizsgált homoktalajok jellemzésére nem tüntettük fel az I. táblázaton az 5 órás kapilláris vízemelést (KVE), többszörös regresszió elemzéssel erre a talajjellemzőre is kiszámítottuk az összefüggést a L.r. és a Sz.a. mennyiségével:

$$\text{KVE} = 421 + 2,15 \text{ L.r.} - 61,80 \text{ Sz.a.} \quad n = 72 \quad P = 0,581. \quad (2)$$

Ebben az egyenletben a L.r.-re vonatkozó ( $b_1$ ) parc. regr. koeff. csak  $P = 10\%$ -os szinten szignifikáns, a Sz.a.-ra vonatkozó ( $b_2$ ) parc. regr. koeff. azonban — ugyanúgy mint az (1) egyenletben —  $P = 0,1\%$ -os szinten szignifikáns. Az 5 órás kapilláris vízemelés magassága tehát elsősorban a homoktalajok szervesanyag tartalmától függ. Részben ez az oka annak, hogy a homoktalajok osztályozására BOTVAY (1955) inkább a 2 órás kapilláris vízemelést találja alkalmasnak.

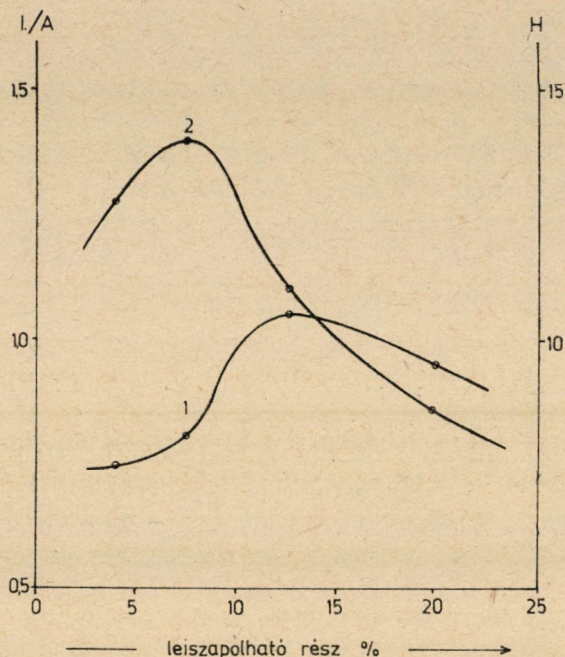
Az 5 órás kapilláris vízemelésre a Módszerkönyv már idézett táblázatán feltüntetett határértékek csak abban az esetben egyeznek kielégítően a (2) egyenlet alapján számított értékekkel, ha vizsgálati anyagunk legnagyobb szervesanyag tartalmát vesszük számításba az egyes szemcsecsoportokban. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált homoktalajok 5 órás kapilláris vízemelése nagyobb az átlagosnál.

A vizsgált homokok és homoktalajok leiszapolható részének jellemzésére az 1. ábrán az iszap- és agyagfrakció arányát ( $I/A$ ), továbbá az e két szemcsefrakció összegére számított szervesanyag tartalmat ( $H$ ) tüntettük fel. Az utóbbi kiszámítására az alábbi képlet szolgál:

$$H = \frac{100}{\text{L.r.}} \text{ Sz.a.}$$

amelyben L.r. = a leiszapolható rész %-os mennyisége, Sz. a. pedig a szervesanyag %-os mennyiségével egyenlő.

Az I/A arány az agyagfrakció egységnyi mennyiségére jutó iszapfrakciót tünteti fel. Ez az arány alacsony a durva homok (L.r. < 10%) két alcsoportjában, legnagyobb az értéke a kis szemcséjű homokokban (L.r. = 10–15%) és ennél nem sokkal kisebb a vályogos homokokban (L.r. = 15–25%). Sokkal kifejezettebb maximuma van a H-értékeknek a kis, közepes szemcséjű homo-



1. ábra: A különböző szemcseösszetételű homoktalajok I/A arányának és a leiszapolható részre számított szervesanyag-tartalmának (H) változása a leiszapolható rész függvényében. Jelölés: 1: az I/A arány. 2: a H-érték görbéje.

kokban (L.r. = 5–10%). Ezután egymással nagyjából párhuzamossá válik a két görbe a kis szemcséjű és a vályogos homokok csoportjában. Mindkét görbe pontjai átlagértékek. Az anyagi összetétel szempontjából tehát a vizsgált talajok változatosabbak az ezeknél kötöttebb homoktalajoknál.

Annak ellenére, hogy fizikai talajosztályozásunk alapját a leiszapolható rész (vagyis a 0,02 mm-nél kisebb átmérőjű részecskék) %-os mennyisége képezi, homokok és homoktalajok részletes vizsgálatokor indokoltnak tartottuk, hogy e talajok szemcseösszetételének nagyobb részét képviselő homokot a szokásosnál részletesebben, több szemcsefrakcióra bontva jellemezzük. Erre a célra a pipettás eljárást BODOLAY I.-NÉVEL nedves szitálással bővítettük ki, és így a 0,2–0,1 mm-es szemcsefrakciót is elkülönítettük.

A II. táblázaton feltüntetett adatokból kitűnik, hogy a vizsgált homoktalajok szemcseösszetételében az Atterberg szerinti finom homok legnagyobb

## II. táblázat

A vizsgált homoktalajok szemcseösszetétele

L. r.	Finom homok			Durva homok		A szemcsehalmaz
	0,05—0,02	0,1—0,05	0,2—0,1	0,5—0,2	>0,5	
mm átmérő						
2—5 3.5	1—2 1.5	5—15 8	65—75 70	12—20 16	<2	Monodiszperz: Kis szemcséjű durva homok
5—10 7.5	2—4 3	5—10 7	60—70 65	12—18 15	<2	Bidiszperz: Kis, közepes szemcséjű homok
10—15 12.5	4—8 6	8—12 10	50—60 55	12—18 15	<2	Polidiszperz: Kis szemcséjű homok
15—25 20	8—12 10	12—18 15	42—48 45	8—10 9	<2	Polidiszperz: Vályogos homok

részecskéi (a 0,2—0,1 mm-es szemcsefrakció) vannak viszonylag a legnagyobb mennyiséggel képviselve.

A kis szemcséjű durva homokoknak ez a frakció több mint 70%-át teszi, és ezért ezt a szemcsehalmazt monodiszperz rendszernek tekinthetjük.

A kis, közepes szemcséjű homokokban a 0,2—0,1 mm-es frakció mellett az Atterberg szerinti durva homok legkisebb szemcsefrakciója (a 0,5—0,2 mm-es részecskék) van a legnagyobb mennyiséggel képviselve. E két frakció összege dominál a szemcseösszetételben, a rendszer tehát bidiszperz.

A kis szemcséjű homokban három homokfrakció, a fentebb említettek és a 0,1—0,05 mm-es frakció összege elégíti ki a dominancia követelményét. A szemcsehalmaz polidiszperz rendszer.

Ugyancsak polidiszperz rendszernek tekinthető a vályogos homok is. Ebben még kevesebb a 0,2—0,1 mm-es finom homok és a talaj szemcseösszetételében a leiszapolható rész (az iszap- és agyagfrakció összege) a második helyen szerepel.

A talajok differenciális porozitását az intézetben már korábban kidolgozott póruster beosztás [KLIMES-SZMIK (1958, 1963, 1964)] alapján jellemezzük. A talaj pórusterében a vízgazdálkodásban betöltött szerepük alapján négy póruscsoportot különítünk el. Ezek az alábbiak\*:

$$P_G \begin{cases} \text{Gravitációs póruster:} & P_g = P - V_{k_{kap}} \\ \text{Kapilláris-gravitációs póruster:} & P_{g, kap} = V_{k_{kap}} - V_{k_{min}} \\ \text{Kapilláris póruster:} & P_{kap} = V_{k_{min}} - 1,5 \text{ Hy} \\ \text{Kötöttvíz pórustere:} & P_{kv} = 1,5 \text{ Hy.} \end{cases}$$

\* Az összefüggésekben szereplő  $V_k$ -értékek és Hy térf. %-ban értendők.

Ehhez a beosztáshoz a talaj összporozitását (P) a

$$P = \left( 1 - \frac{d}{s} \right) \cdot 100 \text{ képlettel számítjuk,}$$

amelyben  $d$  = a talaj térfogatsúlya,

$s$  = a talaj fajsúlya, számításainknál 2,65.

A talajok Mitscherlich-féle, vagy maximális higroszkóposságát a nálunk szokásos módon a  $Hy = 2,1 hy_1$  képlettel számítottuk.

A differenciális porozitás kiszámításához a vizsgált homoktalaj szelvények genetikai szintjeiből vett természetes szerkezetű talajminták kapilláris és minimális vízkapacitását ( $Vk_{kap}$  és  $Vk_{min}$ ), továbbá térfogatsúlyát ( $d$ ) határoztuk meg. A  $Vk_{kap}$  meghatározása után a talajminták vízáteresztő képességét ( $Vá$ ) is mértük az erre a célra készített állványon [KLIMES-SZMIK (1958, 1964)]. Vizsgálatainkhoz minden rétegből 3–5 természetes szerkezetű talajmintát vettünk. Ezeknek a henger alakú talajoszlopoknak a magassága 10, átmérője 4,8 cm, keresztmetszeti területe (S) 18,1 cm<sup>2</sup>. A vízáteresztés mérésekor alkalmazott állandó vízborítás magassága 5 cm.

A homoktalajok vízáteresztésére kapott eredmények értelmezéséhez a talajok fajlagos felületének (U, cm<sup>2</sup>/g) ismeretére is szükség volt. Ezt a talajjellemzőt Zunker\* képletével számítottuk ki.

A vizsgált homoktalajok fajlagos felülete:

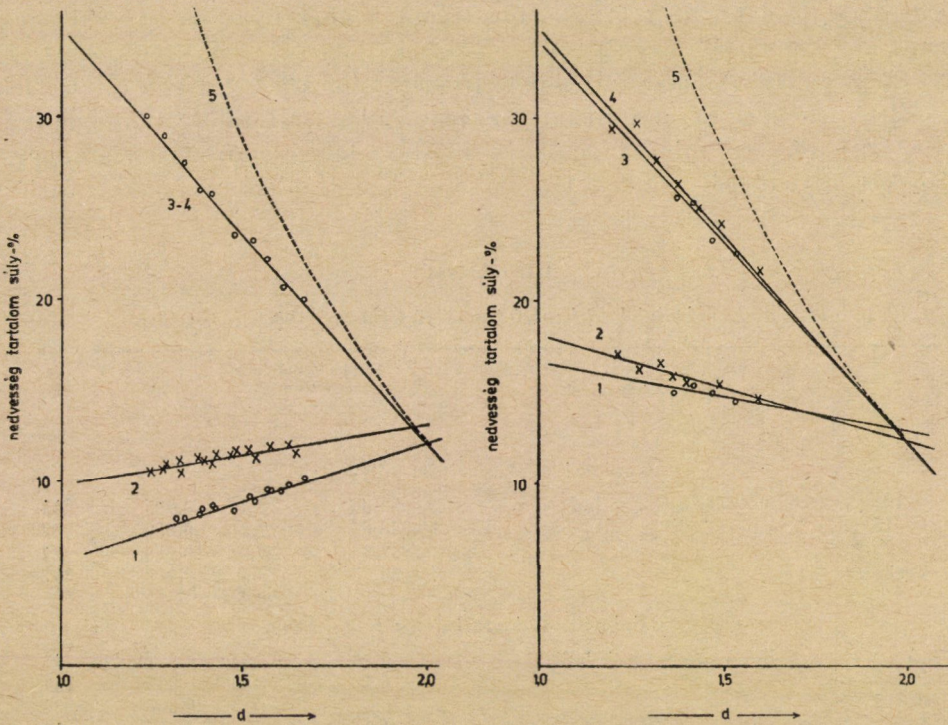
L.r., %	U. cm <sup>2</sup> /g
<5	10,12
5–10	14,05
10–15	19,64
15–25	28,11

A számításainkhoz a homoktalajok szemcseösszetételére a II. táblázaton feltüntetett átlagértékeket vettük alapul.

### A minimális és kapilláris vízkapacitás összefüggése a talaj térfogatsúlyával

A póruster beosztásának alapjául vett két vízkapacitás ( $Vk_{min}$  és  $Vk_{kap}$ ) súly-%-okban kifejezett értéke a vizsgált homoktalajokban a térfogatsúly függvényében szabályosan változik. Ezt az összefüggést egyenesek képviselik a 2. ábrán. Mindkét vízkapacitás tehát lineárisan változik a térfogatsúly függvényében.

\*  $U = \frac{1}{d_w} = \frac{g_1}{d_1} + \frac{g_2}{d_2} + \frac{g_3}{d_3} \dots + \frac{g_n}{d_n}$  ahol,  $\frac{1}{d_w}$  = a mm-ben kifejezett ún. hatásos szemcseátmérő reciproka. A gömb alakúnak elképzelt részecskékből álló szemcsehalmazok összfelülete a  $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$  mm átmérőjű részecskék 1 g talajban levő  $g_1, g_2, g_3 \dots g_n$  %-nyi mennyiségeinek összegéből adódik.  $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$  a szemcsefrakciók átmérő határainak középértéke.



2. ábra: A különböző szemcseösszetételű homoktalajok vízkapacitásainak összefüggése a térfogatsúlyal. Jelölés: az ábra bal oldalán: 1:  $V_{k_{\min}}$  (L. r. < 5%), 2:  $V_{k_{\min}}$  (L. r. = 5 – 10%), 3–4:  $V_{k_{\text{kap}}}$  (L. r. < 10%), 5: összporozitás (P). Az ábra jobb oldalán: 1:  $V_{k_{\min}}$  (L. r. = 10 – 15%), 2:  $V_{k_{\min}}$  (L. r. = 15 – 25%), 3:  $V_{k_{\text{kap}}}$  (L. r. = 10 – 15%), 4:  $V_{k_{\text{kap}}}$  (L. r. = 15 – 25%), 5: összporozitás (P).

Megjegyzés: az 5-tel jelzett szaggatott vonal súly-%-ban számított fiktív értéket képvisel.

A kétrészes ábra bal oldalán a kis szemcsésű durva homokra és a kis, közepes szemcsésű homokra tüntettük fel ezeket az összefüggéseket. Mindkét homokcsoportban nő a  $V_{k_{\min}}$  a térfogatsúly emelkedésével; a kis szemcsésű durva homokban meredekebben. Mindkét egyenes azonban a  $d = 2$  térfogatsúlynak megfelelő pontban metszi az összporozitás görbét. A két homokcsoport  $V_{k_{\text{kap}}}$ -nak változását a térfogatsúlytól függően egyetlen egyenes jellemzi. Ezeknek a  $V_{k_{\text{kap}}}$ -a a térfogatsúly emelkedésével arányosan csökken, és az összefüggést feltüntető egyenes a térfogatsúly,  $d = 2$  értékének megfelelő pontban találkozik a  $V_{k_{\min}}$ -ok egyenesével. Ebben a pontban tehát  $V_{k_{\min}} = V_{k_{\text{kap}}}$  és a megfelelő nedvességtartalom betölti a teljes pórusteret.

A tárgyalt összefüggéseket az ábra jobb oldalán a kis szemcsésű és a vályogos homokokra tüntettük fel. A két-két változó között itt is lineáris az összefüggés, de az előbbi két homokcsoporttal ellentétben a  $V_{k_{\min}}$  a térfogatsúly emelkedésével mérsékelten csökken. Az egyenesek a térfogatsúly,  $d = 2$ -nek megfelelő pontban találkoznak. A vízkapacitás értékeknek a tér-

fogatsúllyal való összefüggése szempontjából a kis szemcséjű és a vályogos homok alig különbözik egymástól.

A megállapított összefüggések szorosságát lineáris regresszió elemzéssel vizsgáltuk. Ezeknek a számításoknak az eredményét a III. táblázaton foglaltuk össze. Látható, hogy mind a kapilláris, mind a minimális vízkapacitásra megállapított összefüggés minden homokcsoportban igen szoros; a korrelációs

### III. táblázat

A vizsgált homoktalajok vízkapacitása és térfogatsúlya közötti összefüggés

L. r. %	A vízkapacitás egyenlete	Az egyenlet állandóinak számértéke		r	n
		a	b		
<b>Kapilláris vízkapacitás: súly-%</b>					
<10	$V_{k_{kap}} = a + b \cdot d$	58,8	-23,4	0,995	233
10-15		56,65	-22,3	0,850	32
15-25		58,2	-23,0	0,975	27
2-25		58,75	-23,5	0,983	292
<b>Minimális vízkapacitás: súly-%</b>					
<5	$V_{k_{min}} = a + b \cdot d$	0,36	6,25	0,992	96
5-10		6,5	3,36	0,955	137
10-15		20,8	-4,0	0,806	32
15-25		24,3	-6,0	0,960	27
10-25		24,7	-6,46	0,902	59

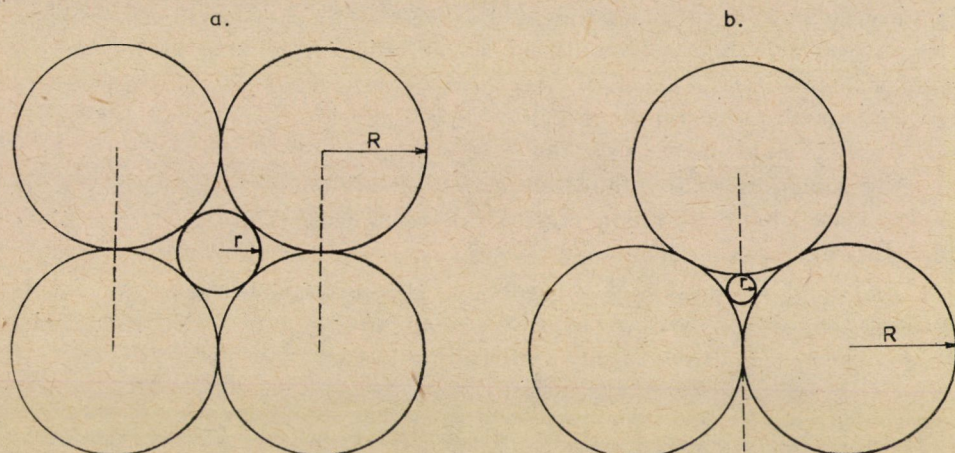
koeficiens (r) minden esetben 0,8-nál nagyobb, az esetek zömében nagyobb 0,95-nél.

A részletes matematikai elemzés azt is kimutatta, hogy a homoktalajok kapilláris vízkapacitása és térfogatsúlya közötti összefüggés igen jó megközelítéssel egyetlen egyenlettel is kifejezhető; a táblázaton ezt az egyenletet is feltüntettük. Az is kitűnt, hogy a minimális vízkapacitás változása szempontjából a kis szemcséjű és a vályogos homokok csoportja is összevonható. E két homok csoportra érvényes közös egyenletet feltüntettük a III. táblázaton.

A homokok minimális vízkapacitására megállapított összefüggés a térfogatsúllyal a talajmechanikából jól ismert ún. „ideális talaj” modellje alapján értelmezhető. Eszerint a talajt azonos átmérőjű, gömb alakú részecskék halmozásának tekintjük. Ezek a gömbök kétféle térbeli elrendezésben illeszkedhetnek egymáshoz: laza és tömött elrendezésben. Az első esetben az egymás mellé sorakozó gömbök középpontjai egy egyenesbe esnek. E gömbsor mindegyik tagja fölé egy-egy gömböcske úgy illeszkedik, hogy középpontja az alatta levő fölé kerül. Ebben a gömbhalmazban a gömbközpontokat összekötő vízszintes és függőleges egyenesek szabályos kockahálózatot képeznek. A részecskéknek ezt a térbeli elrendeződését kockás vagy köbös illeszkedésnek nevezik.



Ilyenkor mindegyik részecske más hattal érintkezik. A gömbök által határolt térbe írható kör (pórus) sugara a pórusok legszűkebb helyein,  $r = 0,41 R$ . A szemcsehalmaz összporozitása: 47,6%, térfogatsúlya: 1,39. Tömött elrendezésben a felső gömbsor tagjainak középpontja az alsó gömbsor tagjai érintkezési pontja fölé kerül. Minden egyes részecske más tizenkettővel érintkezik. A részecskéknek ezt a térbeli elrendeződését hexagonális illeszkedésnek nevezik.



3. ábra: Az „ideális talaj” modellje a talajrészecskék laza (a) és legtömöttebb (b) illeszkedése esetén. Jelölés:  $R$  = a talajrészecskék sugara,  $r$  = a talajrészecskék által határolt pórustérbe írható kör sugara.

Ilyenkor a gömbök által határolt térbe írható kör sugara a pórusok legszűkebb helyein,  $r = 0,155 R$ . A szemcsehalmaz összporozitása: 24,6%, térfogatsúlya: 2,0,  $R$  = a gömb alakú részecskék sugara.

Ezeket a viszonyokat vázlatosan a 3. ábra szemlélteti. Az „ideális talaj” modellje talajfizikai jelenségek értelmezésére természetesen csak megközelítően használható fel, miután csak azonos nagyságú és gömb alakú részecskéhalmazokra érvényes közvetlenül.

Az „ideális talaj” modellje alapján jól értelmezhető az első megközelítésre monodiszperz szemcsehalmaznak tekinthető homokok  $V_{k_{\min}}$ -ának lineáris összefüggése a térfogatsúlyal. Ilyen homokokban a  $V_{k_{\min}}$  nedvessége gyűrű alakban veszi körül a szilárd részecskék érintkezési pontjait. Tömörüléskor e szemcsehalmazok térfogatsúlyának emelkedésével a részecskék érintkezési pontjainak száma is nő, és ennek arányában a  $V_{k_{\min}}$ -nek megfelelő nedvességtartalom is emelkedik. Ugyanez az összefüggés érvényes a bidiszperz rendszereknek tekinthető kis, közepes szemcséjű homokokra is, de már elmosódottabb formában, mivel az „ideális talaj” feltételeit már kevésbé elégtük ki.

Az ezeknél kötöttebb és polidiszperz anyagrendszereknek nevezhető

homoktalajokban a tárgyalt összefüggést meghatározó egyenes egyenletében a regressziós koefficiens (az egyenlet  $b$  paraméterének) előjele negatívra változik: a  $V_{k_{min}}$  a térfogatsúly emelkedésével mérsékelten csökken. Ezek az anyagrendszerek már nem elégíthetik ki az „ideális talaj” feltételeit. Kis részecskéknek a nagyobbak közé ékelődése következtében e szemcsehalmazok tömörülésekor a pórusviszonyok változása bonyolult, és a gömb alakúnak képzelt részecskék és az általuk határolt pórusok sugara (vagy átmérője) között nem állapítható meg egyszerű és egyértelmű összefüggés. Mindenesetre figyelemre méltó az a tény, hogy a  $V_{k_{min}}$  és a térfogatsúly közötti lineáris összefüggés ezekben az anyagrendszerekben is fennáll; ezt az összefüggést tehát egyelőre empirikusnak kell tekinteni.

Ugyancsak tapasztalatinak kell tekinteni egyelőre a homokok és homoktalajok  $V_{k_{kap}}$ -ának lineáris összefüggését a térfogatsúlyal.

A megállapított összefüggések ennek ellenére nagyon fontosak, mert csak így válik lehetővé a homoktalajok differenciális porozitásának vizsgálata a térfogatsúly függvényében.

A vizsgált homoktalajok porozitás viszonyainak változását a térfogatsúly függvényében, vagyis lazítás, illetve tömörítés (vagy ülepedés, tömörülés) következtében, a IV. táblázaton szemléltetjük.

#### IV. táblázat

A vizsgált homoktalajok differenciális porozitása és térfogatsúlya közötti összefüggés

d	P	$P_G$		$P_{k_{kap}}$	$P_{kv}$	$\frac{P_{g-kap}}{P_G}$ %-ában	Vízáteresztés	
		$P_g$	$P_{g-kap}$				mm/h	Relat.
		térf. %						
Kis szemcsésű durva homok:								
1,3	51,0	15,6	24,4	10,0	1,1	61,0	325	1,0
1,4	47,2	11,0	23,5	11,6	1,1	68,1	280	
1,5	43,4	8,1	20,7	13,4	1,2	71,9	235	
1,6	39,6	5,8	17,2	15,3	1,3	74,8	190	
1,7	35,9	3,9	13,3	17,3	1,4	77,3	145	
Kis, közepes szemcsésű homok:								
1,3	51,0	15,6	21,3	12,3	1,8	57,7	155	0,38
1,4	47,2	11,0	20,5	13,7	2,0	65,1	125	
1,5	43,4	8,1	18,0	15,2	2,1	69,0	95	
1,6	39,6	5,8	14,8	16,8	2,2	71,8	65	
1,7	35,9	3,9	11,2	18,4	2,4	74,2	35	
Kis szemcsésű és vályogos homok:*								
1,3	51,0	15,6	14,3	17,4	3,7	47,8	85	0,20
1,4	47,2	11,0	14,4	17,8	4,0	56,7	45	
1,5	43,4	8,1	12,9	18,1	4,3	61,4	30	
1,6	39,6	5,8	10,9	18,3	4,6	65,3	23	
1,7	35,9	3,9	8,8	18,3	4,9	69,3	18	

\* A vízáteresztés adatai a vályogos homokra vonatkoznak.

A számításokhoz minden talajcsoportban a kapilláris vízkapacitás és a térfogatsúly összefüggésére a

$$V_{k_{\text{kap}}} = 58,75 - 23,5 d \quad (3)$$

egyenletet vettük alapul.

A minimális vízkapacitás összefüggését a térfogatsúllyal a kisszemcséjű durva homoknál a

$$V_{k_{\text{min}}} = 0,36 + 6,25 d, \quad (4)$$

a kis, közepes szemcséjű homokoknál a

$$V_{k_{\text{min}}} = 6,5 + 3,36 d, \quad (5)$$

végül a kisszemcséjű és vályogos homoknál a

$$V_{k_{\text{min}}} = 24,7 - 6,46 d \quad (6)$$

egyenlet alapján számítottuk.

A vizsgált kisszemcséjű homokok differenciális porozitásának változásával kapcsolatban a térfogatsúlytól függően a  $d = 1,3 - 1,7$  térfogatsúly közben a IV. táblázaton feltüntetett adatok alapján az alábbi megállapításokat lehet tenni.

Adott térfogatsúlyhoz mind a négy homokcsoportban ugyanakkora gravitációs póruster ( $P_g$ ) tartozik. Nagysága a térfogatsúly emelkedésével fokozatosan kezdeti értékének egyharmadára csökken.

A porozitás viszonyok szempontjából nem megokolt a finom homokok és homokos vályogok csoportjának elválasztása; a táblázaton ez a két homoktalaj csoport már összevontan van feltüntetve.

Adott térfogatsúlyhoz tartozó gravitációs-kapilláris porozitás ( $P_{g\text{-kap}}$ ) viszonylag legnagyobb a kis szemcséjű durva homokban és a legkisebb a kis szemcséjű és a vályogos homokban. Térfogata a térfogatsúly emelkedésével mindegyik homoktalaj csoportban csökken. A  $d = 1,3 - 1,6$  térfogatsúly közben a kis szemcséjű durva homokban ez a póruscsoport van a legnagyobb térfogattal képviselve. Ez a kis-, közepes szemcséjű homokban csak a  $d = 1,5$  térfogatsúlyig érvényes.

A kapilláris póruster ( $P_{\text{kap}}$ ), a  $P_g$  és  $P_{g\text{-kap}}$  pórusterrel ellentétben, a térfogatsúly függvényében emelkedik a kis szemcséjű durva és a kis, közepes szemcséjű homokban, a kis szemcséjű és a vályogos homokban pedig alig nő a térfogatsúly emelkedésével, közel állandónak tekinthető. Térfogata egyúttal a két homokcsoportban a legnagyobb.

A kötött víz pórustere a homoktalajok kis higroszkóposága következtében kicsi: a kis szemcséjű durva homokban és a kis, közepes szemcséjű homokban számos esetben el is hanyagolható.

### A különböző szemcseösszetételű homoktalajok vízáteresztésének összefüggése a térfogatsúllyal

A homokokat általában nagy vízáteresztő képességű talajoknak tekintik. Ha azonban ezeket a talajokat szemcseösszetételük alapján osztályozzuk, vízáteresztésük jelentősen különbözik egymástól, és ezek a különbségek a négy homokcsoportban a térfogatsúly függvényében is jelentkeznek.

#### V. táblázat

A vizsgált homoktalajok vízáteresztése és térfogatsúlya közötti összefüggés

L. r. %	Nedv. tart. V <sub>kmin</sub> %-ában	A vízáteresztés egyenlete	Az egyenlet állandóinak számértéke		Korrelat. koeff.	n	
		Egy független változóval: a	b		r		
<5	85	Vá = a + b · d	917	-455	0,990	36	
10-15	50	$Vá = \frac{10^3}{a + b \cdot d}$	-59	47	0,960	32	
15-25	90		-130	109	0,990	27	
		Két független változóval: a	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	R		
5-10*	80	Vá = a + b <sub>1</sub> d + b <sub>2</sub> N	584	-289	-4,9	0,978**	42

\* A talaj szervesanyag-tartalma < 1%

\*\* P = 0,1% szinten szignifikáns,

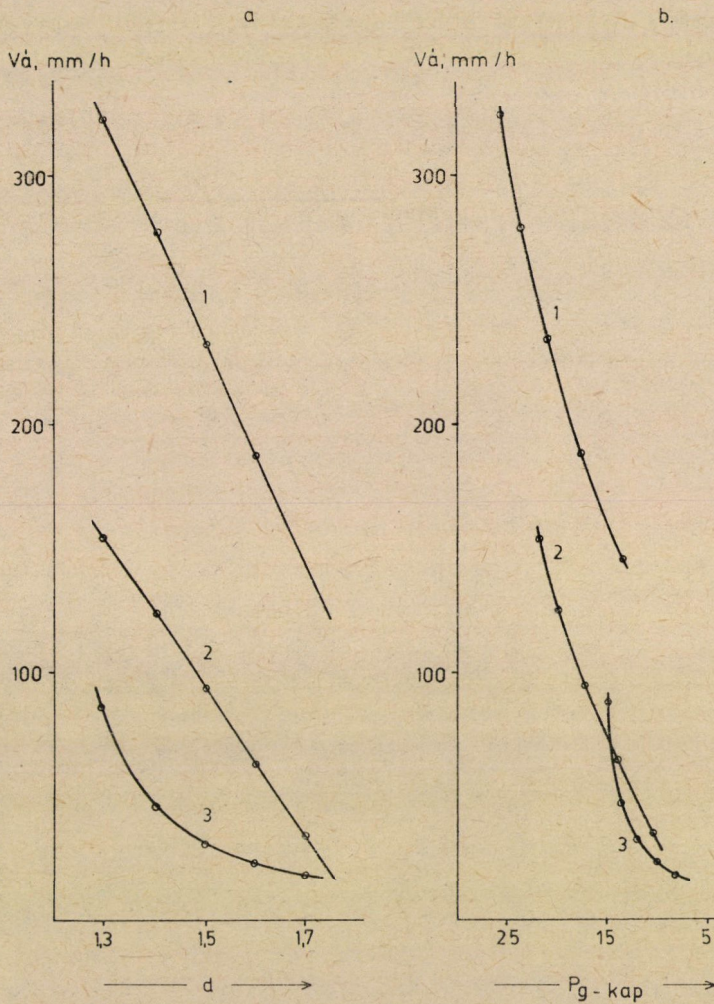
N = a talaj nedvességtartalma mintavételkor, súly-%.

A vízáteresztés (Vá) és térfogatsúly közötti összefüggésre megállapított egyenleteket és állandóik számértékét arra az esetre, ha a Vá-t mm/h-ban fejezzük ki, az V. táblázaton találjuk.

A homoktalajok vízáteresztését, a vízkapacitás értékekkel ellentétben, nedvességi állapotuk és szervesanyag-tartalmuk is befolyásolja. A száraz homoktalaj több vizet ereszt át, mint a nedves. Ez nyilvánvalóan a szerves anyag duzzadásával függ össze. Ez a két tényező a legkevesebb leiszapolható részt (< 5%) tartalmazó, kis szemcséjű durva homokban nem érvényesül. A kis, közepes szemcséjű és 1%-nál kevesebb szerves anyagot tartalmazó homokok nedvességi állapotát mennyiségileg is tudtuk értékelni többszörös regresszióval.

A vízáteresztés és térfogatsúly összefüggésének jellege alapján a homoktalajokat két csoportra oszthatjuk: a 10%-nál kevesebb és ennél több leiszapolható részt tartalmazó homokokra. A kis szemcséjű durva és a kis, közepes szemcséjű homokok vízáteresztése a térfogatsúly emelkedésével arányosan csökken; az összefüggés lineáris.

A kis szemcséjű és a vályogos homokokra ezt az összefüggést hiperbolászerű görbék képviselik: a térfogatsúly emelkedésével a d = 1,3 térfogatsúlytól



4. ábra: Különböző szemcseösszetételű homoktalajok vízáteresztés görbéi. Jelölés: Az ábra bal (a) oldalán: a vízáteresztés ( $V_a$ , mm/h) összefüggése a térfogatsúllyal ( $d$ ). 1: L. r. < 5%, 2: L. r. = 5–10%, 3: L. r. = 15–25%. Az ábra jobb (b) oldalán: U. a. a  $P_{g-kap}$  függvényében.

kezdetben rohamosan, majd kb.  $d = 1,5$  térfogatsúlytól kezdve csak mérsékelten csökken.

Ezeket az összefüggéseket a 4. ábra bal oldalán szemléltetjük. Az egymásközötti összehasonlításra csak azokat a mennyiségi összefüggéseket használhattuk, amelyek a homoktalajoknak kb. ugyanarra a viszonylagos nedvességi állapotára vonatkoznak.

A tárgyalt összefüggések értelmezése a talajok porozitásviszonyainak figyelembevétele nélkül nem lehetséges.

Az első, aki a telített talajban mozgó víz áramlásának alapvető paramétereit megállapította, DARCY [2] volt. A műszaki gyakorlatban ma is a *Darcy*-féle  $q$  együtthatóval szokták a különböző talajok vízáteresztését jellemezni. Darcy képlete azonban a talaj porozitásviszonyait jellemző tényezőt még nem tartalmaz.

DARCY nyomán számos kutató foglalkozott a különböző szemcseösszetételű talajok vízáteresztésének mennyiségi viszonyaival. A megállapított nagyszámú egyenlet közül a legszélesebb körben ZUNKER (1933) egyenlete vált ismertté. Ő a különböző szemcseösszetételű talajok vízáteresztését a porozitás viszonyokat jellemző, változó értékkel hozta összefüggésbe.

Ha a mérés körülményeire vonatkozó paramétereket egy konstánsba (k) vonjuk össze, akkor Zunker egyenlete az alábbi módon írható fel:

$$\frac{Q}{S} = k \cdot \frac{\mu}{U^2} \cdot \left( \frac{p_0}{1-p} \right)^2, \quad (7)$$

amelyben  $Q/S$  = a talaj egységnyi keresztmetszetén az időegység alatt áthaladó víz mennyisége, vagyis ml/mp.

$\mu$  = a talajrészecskék alakját jellemző állandó, gömbalakú részecskékre (homoktalajokban) 2,3-mal egyenlő.

$p_0$  = 1 cm<sup>3</sup> talajban a Zunker-féle feszültségmentes pórustér,

$p$  = 1 cm<sup>3</sup> talaj összporozitása,

$U$  = a talaj fajlagos összfelülete.

$p_0$  a talaj összporozitásának és a 2 Hy-nak megfelelő nedvesség által elfoglalt pórustérnek a különbsége. Nem nehéz felismerni, hogy a (7) egyenletben szereplő  $\frac{p_0}{1-p}$  hányados pedig a talajmechanikából jól ismert *Terzaghi*-féle hézag tényező (e)\* módosított alakja.

Zunker szerint tehát a talajok vízáteresztése fajlagos felületük négyzetének reciprokával és a módosított hézag tényező négyzetével arányos.

Ez az összefüggés azonban nem szabatos, mert a telített talajban csak a gravitációs pórustérben ( $P_G$ ) mozog a víz és ezért nagyon helyesen jegyzi meg BAYER (1948), hogy a talajban a nedvességet visszatartó erők nagyságát figyelembevéve  $p_0$  kiszámításakor a 2 Hy helyett a  $V_{k_{\min}}$ -t kellene alapul venni.

Zunker egyenlete nemcsak a különböző szemcseösszetételű talajok vízáteresztésére állapít meg összefüggést, hanem annak a térfogatsúllyal való változását is magában foglalja. A (7) egyenletet tehát Bayer észrevétele alapján módosítottuk és megvizsgáltuk, hogy a módosított egyenlet alapján számí-

\*  $e = \frac{p}{1-p}$ ,  $p$  = a talaj összporozitása.

tott vízáteresztés értékek milyen mértékben egyeznek az V. táblázaton feltüntetett egyenletekkel számított vízáteresztéssel.

A módosított Zunker-féle egyenlet:

$$V_a(Q') = k \cdot \frac{2 \cdot 3}{U^2} \cdot \left( \frac{P_G}{100 - P} \right)^2 \text{ mm/h,} \quad (8)$$

amelyben  $k = 2,4 \times 10^4$  a vízáteresztés ml/mp-ben kifejezett értékének mm/h-ra történt átszámításához.  $2,3/U^2$  számértékét a vizsgált homokcsoportokra a VI. táblázaton találjuk. A módosított hézag tényező kiszámításához, a jobb összehasonlíthatóság miatt a  $100 \text{ cm}^3$  talajra vonatkozó adatokat vettük alapul.

A különböző szemcseösszetételű homoktalajok vízáteresztését a (8) egyenlet alapján számítva a VII. táblázaton foglaltuk össze. Ez az egyenlet mind a négy homoktalaj csoportban hiperbolyszerű görbével jellemzett összefüggést állapít meg a vízáteresztés és a térfogatsúly között. Mi ilyen típusú összefüggést csak a 10%-nál több leiszapolható részt tartalmazó homoktalajokra állapítottunk meg.

A módosított Zunker-féle egyenlettel számított vízáteresztés értékek összehasonlítva a mi adatainkkal (IV. táblázat), kitűnik, hogy azok csak a  $d = 1,3-1,4$  térfogatsúly közben és csak a 10%-nál kevesebb leiszapolható részt tartalmazó homoktalajokban egyeznek kielégítően. Ettől eltekintve a mi adataink jóval magasabbak, különösen a vályogos homokok csoportjában.

Zunker képletében alapvetően a fajlagos felület ( $U$ ) képviseli a talajok szemcseösszetételét. Az V., VI. és VII. táblázat megfelelő adatainak egybevetéséből az is kitűnik, hogy a különböző szemcseösszetételű talajok viszonylagos vízáteresztése sem számított fajlagos felületük, sem az utóbbi négyzetének reciprokával nem változik arányosan. Ez azonban természetes is, mivel etekintetben is ugyanaz érvényes, mint a hézag tényező értelmezésénél: nem vehető számításba a szilárd fázis összfelülete, mert annak csak a gravitációs pórusokat határoló, egyelőre számításba nem vehető része gyakorol befolyást a talajban áramló víz mozgására.

VI. táblázat

L. r. %	$U$ $\text{cm}^2/\text{g}$	$\frac{1}{U}$	Relat.	$U^2$	$\frac{2,3}{U^2}$	Relat.
<5	10,12	0,0988	1,00	102,4	0,0225	1,00
5-10	14,05	0,0712	0,72	197,4	0,0117	0,52
10-15	19,64	0,0509	0,52	385,7	0,0060	0,27
15-25	29,11	0,0344	0,35	790,2	0,0029	0,13

## VII. táblázat

A vizsgált homoktalajok vízáteresztése ZUNKER módosított képletével számítva

d	$P_G$	$\frac{P_G}{100 - P}$	$\left(\frac{P_G}{100 - P}\right)^2$	Vízáteresztés	
				mm/h	Relat.
Kis szemcséjű durva homok:					
1,3	40,0	0,82	0,672	360	1,0
1,4	34,5	0,65	0,423	230	
1,5	28,8	0,51	0,260	140	
1,6	23,0	0,38	0,144	80	
1,7	17,2	0,27	0,073	40	
Kis, közepes szemcséjű homok:					
1,3	36,9	0,75	0,563	160	0,43
1,4	31,5	0,60	0,360	100	
1,5	26,1	0,46	0,212	60	
1,6	20,6	0,34	0,116	33	
1,7	15,1	0,24	0,058	16	
Kis szemcséjű homok:					
1,3	29,9	0,61	0,372	55	0,15
1,4	25,4	0,48	0,230	33	
1,5	21,0	0,37	0,137	20	
1,6	16,7	0,28	0,078	11	
1,7	12,7	0,20	0,040	6	
Vályogos homok:					
1,3	29,9	0,61	0,372	26	0,08
1,4	25,4	0,48	0,230	16	
1,5	21,0	0,37	0,137	10	
1,6	16,7	0,28	0,078	5	
1,7	12,7	0,20	0,040	3	

Pórustér beosztásunkban kifejezésre jut az a körülmény, hogy azok a pórusok, amelyekben a víz a nehézségi erő hatására mozog, nem azonos méretűek. Az összes gravitációs pórusteret ( $P_G$ ) a nagy pórusokból álló gravitációs ( $P_g$ ) és az ezeknél kisebb átmérőjű pórusokból tevődő gravitációs-kapilláris ( $P_{g-kap}$ ) pórustérre osztottuk. Nagyrészt e két pórustér mennyiségi viszonyai és ezeknek a talaj térfogatsúlyától függő változásai határozzák meg a talajok vízáteresztését. Homoktalajokra ilyen összefüggéseket a IV. táblázaton feltüntetett adatok alapján állapíthatunk meg.

A vizsgált homoktalajok összes gravitációs porozitása ( $P_G$ ) mind a leiszapolható rész mennyiségének gyarapodásával és minden homokcsoportban a térfogatsúly emelkedésével csökken. Ez azonban kizárólag a gravitációs-kapilláris ( $P_{g-kap}$ ) pórustér mennyiségi viszonyainak tulajdonítható, mert a gravitációs ( $P_g$ ) pórustér nagysága mind a négy homokcsoportban ugyanaz.

A kis szemcséjű durva homokban és a kis, közepes szemcséjű homokban a térfogatsúly emelkedésével növekedő %-os mennyiséggel van a  $P_{g-kap}$   $P_G$ -ben képviselve; ennek megfelelően csökken a vízáteresztés.



A 10%-nál kevesebb leiszapolható részt tartalmazó homoktalajok vízáteresztése tehát lineárisan változik a  $P_{g-kap}$  függvényében (lásd a 4. ábra b/ részén) és ez az összefüggés az egyenes egyenletével írható le:

$$V_a, \text{ mm/h} = a + b \cdot P_{g-kap} \quad (9)$$

Ezeknek a homoktalajoknak a vízáteresztése a  $d = 1,3 - 1,7$  térfogatsúlya ugyancsak jó korrelációt mutat a  $\frac{P_{g-vap}}{100 - P}$  hányadossal is:

$$V_a, \text{ mm/h} = a + b \cdot \frac{P_{g-vap}}{100 - P} \quad (10)$$

Ezek az egyszerű összefüggések azonban a 10%-nál több leiszapolható részt tartalmazó homoktalajokra már nem érvényesek. A pórusviszonyoknak a térfogatsúly változásával összefüggő alakulása itt már bonyolultabb. Erre mutat az is, hogy — ellentétben a könnyű homokoktól — ezeknek a talajoknak a  $P_{g-kap}$ -a a  $P_G$  %-ában kifejezve a térfogatsúly emelkedésével nő. Ezeknek a talajoknak a vízáteresztését bonyolultabb összefüggés szerint a  $P_g$  és  $P_{g-kap}$  térfogata együttesen határozzák meg.

#### A különböző szemcseösszetételű homoktalajok vízkészletének és levegőzésének összefüggése a térfogatsúlyal

A talajban elraktározható víz mennyisége is a talaj változó fizikai jellemzői közé tartozik, mert a természetes vízkapacitás ( $V_{k_{term}}$ ) térfogat-%-ban kifejezett értéke. Amennyiben a talajvíz szintje a szelvényben 3–4 m-nél mélyebben van, kb. 2 m mélységig nem befolyásolja a talajszelvény vízkészletét és  $V_{k_{term}} \cong V_{k_{min}}$ .

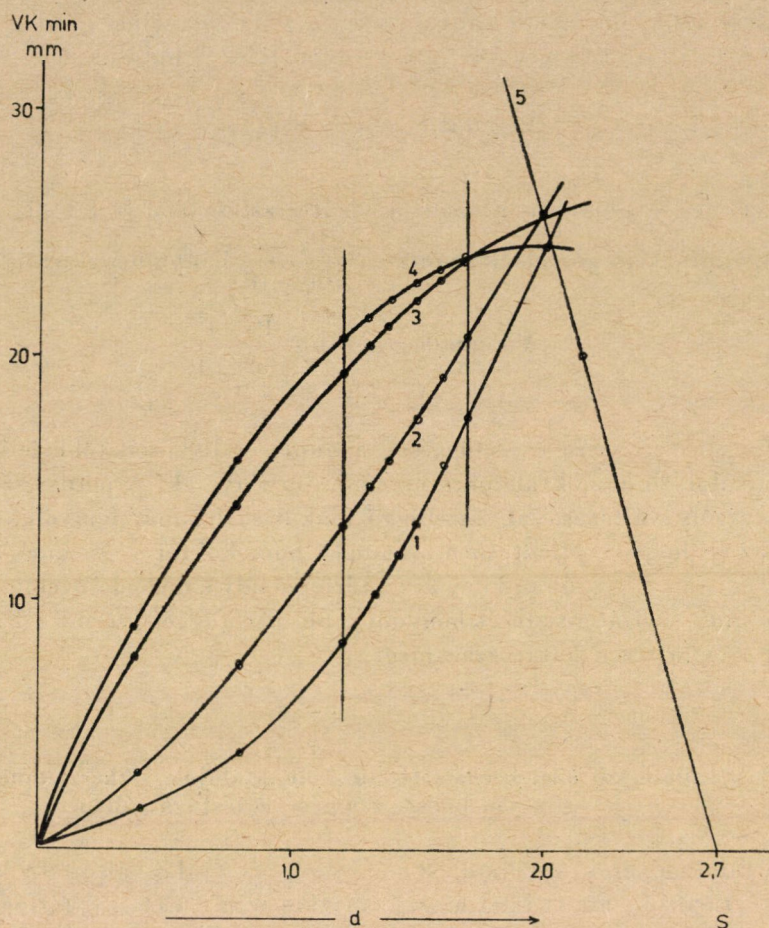
Ebben az esetben a talajszelvény vízkészlete különböző mélységig:

$$V_k = \frac{h}{10} \cdot V_{k_{min}, \text{ súly-\%}} \cdot d \quad \text{mm} \quad (11)$$

ahol  $h$  = a talajréteg vastagsága, cm.

A különböző szemcseösszetételű homoktalajok 10 cm vastag rétege vízkészletének változását a térfogatsúlytól függően, az 5. ábra szemlélteti. A görbék pontjainak kiszámításához a III. táblázaton feltüntetett egyenleteket használtuk. Ezeket behelyettesítve a (11) egyenletbe és ha  $h = 10$  cm, akkor azt kapjuk, hogy

$$VK = (a + b \cdot d) \cdot d = a \cdot d + b \cdot d^2, \text{ mm} \quad (12)$$



5. ábra: A különböző szemcseösszetételű homoktalajok 10 cm-es rétege vízkészletének (mm) változása a térfogatsúllyal (d). Jelölés: 1: L. r. < 5%, 2: L. r. = 5–10%, 3: L. r. = 10–15%, 4: L. r. = 15–25%, 5: összporozitás (P) térfogat %-ban.

Az így kiszámított VK értékek a  $d = 1,3 - 1,7$  térfogatsúly intervallumban közel lineárisan változnak; olyan egyenesek mentén fekszenek, amelyek a talaj térfogatsúlyával arányosan emelkednek. Az egyenes szakasz dőlésének meredeksége a leiszapolható rész mennyiségének emelkedésével csökken.

A nyugati előkaukázusi csernozjom talajokra TYUREMNOV (1923) azt ta-

lálta, hogy

$$V_{k_{\min}}, \text{ súly-\%} \cdot d = \text{konst.}$$

Hazánkban pedig SZELÉNYI (1957) találta ezt az összefüggést érvényesnek csernozjom és réti, vályog- és ennél kötöttebb talajokra.

Homoktalajokra, vizsgálataink szerint, ez a megállapítás nem érvényes.

A vizsgált homoktalajok vízkészletét 1 m mélységig a fizikai talajféleség szerinti csoportosításban a VIII. táblázaton foglaltuk össze. Ezek az adatok a fizikai féleség szempontjából homogén szelvényekre vonatkoznak, vagyis azokra, amelyeknek a szemcseösszetétele a jelzett mélységig azonos. A 10% leiszapolható rész az a határ, amelyen alul a homoktalajok vízkészlete kevesebb

## VIII. táblázat

## Különböző szemcseösszetételű homoktalajok vízkészlete

Réteg, cm	d	Vízkészlet, mm	d	Vízkészlet, mm
	Kis szemcséjű durva homok:		Kis, közepes szemcséjű homok:	
0–20	1,30–1,50	20–30	1,35–1,50	30–35
20–50	1,35–1,60	35–50	1,45–1,55	50–55
50–100	1,35–1,65	60–85	1,35–1,55	75–90
0–100		115–165		155–180
k. é.		140		168
	Kis szemcséjű homok:		Vályogos homok:	
0–20	1,35–1,50	41–45	1,25–1,35	42–45
20–50	1,45–1,55	65–67	1,35–1,50	65–70
50–100	1,35–1,45	104–108	1,35–1,55	108–115
0–100		210–220		215–230
k. é.		215		223

200 mm-nél és középértéke jóval szélesebb határok között változik, mint az ennél kötöttebb homoktalajok 200 mm-nél nagyobb vízkészlete.

A (11) egyenlet alapján számított vízkészletek jól egyeznek (kb.  $\pm 10\%$ -os szórással) a szabadföldi meghatározás eredményéből közvetlenül számított adatokkal.

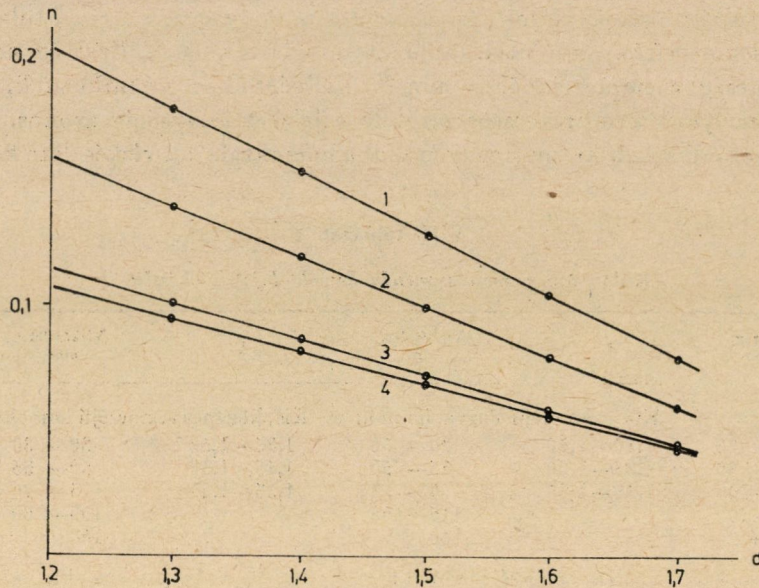
A homoktalajok túlnyomó részének szemcseösszetétele még 1 m mélységig sem azonos. Lepelhomokok könnyű szemcseösszetételű felső rétege alatt kötöttebb rétegek találhatóak. Az agyagbemosódásos erdőtalajok B-szintje kötöttebb a környező homokénál. A talajfejlődési folyamatokban létrejött heterogén szemcseösszetételű homokszelvények típusainak ismertetése tekintetében STEFANOVITS (1963, 1966) munkáira utalok.

A kötöttebb köztes homokréteg a  $V_{k_{min}}$ -nél több vizet tart vissza magában, NERPIN és MELNYIKOVA (1957) megállapításai szerint kapillaris függővíz alakjában. Ennek a rétegnek lehetséges vastagságát ( $h_{k.f.v.}$ ) a kötöttebb és a kevésbé kötött homok kapillaris vízemelésének különbsége határozza meg,

vagyis

$$h_{k.f.v.} = h_f - h_d,$$

$h_f$  a viszonylag finomabb és  $h_d$  a durvább homok kapillaris vízemelése.



6. ábra: A leszivárgás sebességének ( $n$ ) összefüggése különböző szemcseösszetételű homoktalajok térfogatsúlyával ( $d$ ). Jelölés: 1: L. r. < 5%, 2: L. r. = 5–10%, 3: L. r. = 10–15%, 4: L. r. = 15–25%.

A különböző szemcseösszetételű homoktalajok kapilláris vízelését ZUNKER\* képletével számítva a IX. táblázaton találjuk.

Megállapítható, hogy a köztes réteg természetes  $V_k$ -a annál nagyobb, minél kötöttebb a környező homoknál, továbbá az is, hogy a  $V_{k_{min}}$ -t meghaladó vízkészlet két egymással azonos szemcseösszetételű homokréteg közül a nagyobb térfogatsúlyúban is kialakulhat.

#### IX. táblázat

A vizsgált homoktalajok kapilláris vízelése ZUNKER képletével számítva

d	Kapilláris vízelés, cm			
	L. r. : <5%	5–10%	10–15%	15–25%
1,3	43	60	84	120
1,4	50	70	98	140
1,5	59	82	114	163
1,6	68	95	133	191
1,7	80	112	156	223

\* ZUNKER képlete:

$$H = 0,3 a^2 \cdot \frac{1-p}{p_{01}} \cdot U \text{ cm}$$

amelyben:  $a^2$  = a kapillaritás állandója, 14,82;  $p$  = összpórustér,  $p_{01}$  = levegő és feszültségmentes pórustér, homoktalajokban nagyjából  $p$ -vel egyenlő.

A homokszelvény vízkészlete az egyes genetikai szintek vízkészletéből összegeződik; e szintek szemeseösszetétele és tömődöttsége szabja meg az eltérés mértékét a  $Vk_{\min}$ -tól még az altalajvíz által nem befolyásolt szelvényekben is.

Minden bizonnyal részben a tárgyalt jelenségeknek tulajdonítható a STEFANOVITS (1966) által leírt glejes szintek kialakulása homoktalajokban is.

A talaj levegőzöttségét KOPECKY (1927) nyomán az összes gravitációs pórustérrel ( $P_G$ ) jellemezzük, vagyis azzal a póruscsoporttal, amelyből beázás után a víz mélyebbre szivárog. Ha ez a pórustér a talaj térfogatának legalább mintegy 12%-a, a talaj levegőzése már kielégítő. DVORACEK (1966) könnyű homoktalajok néhány vízgazdálkodási sajátosságát vizsgálva, többek között megállapította, hogy KOPECKY követelménye még az 1,7 térfogatsúlyú homokban is teljesül. Ugyanez tűnik ki a VII. táblázaton feltüntetett adatokból is.

Homogén és a talajvíz szintje által nem befolyásolt szelvény levegőzöttsége jó, sőt az alacsonyabb térfogatsúlyok régiójában túlzott is.

Beázás után a homoktalajok gravitációs pórusai ( $P_g$ ) gyorsan kiürülnek, de az összes gravitációs pórustér nagyobb részét kitevő gravitációs-kapilláris pórusokból ( $P_{g+ap}$ ) már sokkal lassabban szivárog le a víz és ezért a homoktalajok levegőzöttségét az átmeneti levegőtlenység vonatkozásában is megvizsgáltuk.

A talajok beázási mélységének időbeli változására SZELÉNYI [16] az  $y = m/x^n$  összefüggést találta érvényesnek, amelyben  $x$  = az idő, perc  $m$ ,  $n$  = az egyenlet állandói, a szemeseösszetételtől és szerkezeti állapottól függő talajjellemzők.

Vizsgálataink szerint ez az összefüggés a talajnedvesség leszivárgására is érvényes. Ebben a vonatkozásban az egyenlet:

$$N = \frac{Vk_{\max}}{t^n} \quad (13)$$

Az egyenletben:

- $N$  = a talaj nedvességtartalma  $t$  időpontban, súly-%
- $Vk_{\max}$  = a talaj összporozitását betöltő vízmennyiség, súly-%
- $t$  = idő, perc
- $n$  = az egyenlet állandója.

Ha a (13) egyenletben  $N = Vk_{\min}$  és az egyenletet logaritmusos alakban írjuk fel, akkor  $n$  hatványkitevő értéke kiszámítható, vagyis

$$\log Vk_{\min} = \log Vk_{\max} - n \cdot \log t$$

Ebből:

$$n = \frac{\log Vk_{\max} - \log Vk_{\min}}{\log t}, \quad (14)$$

$$t = 8640' \text{ (6 nap).}$$

Ebből az egyenlethől kitűnik, hogy  $n$  sebesség jellegű paraméter: a víz leszivárgásának a sebességét határozza meg a beázott talajban a  $V_{k_{\min}}$ -nak megfelelő egyensúlyi nedvességi állapotig. Tekintettel arra, hogy mind a maximális, mind a minimális  $V_k$  a talaj térfogatsúlyától függ, a víz leszivárgásának a sebessége is a térfogatsúlytól függő paraméter.

A vizsgált homoktalajokra ezt az összefüggést a  $d = 1,2 - 1,7$  térfogatsúly intervallumban a 6. ábrán tüntetjük fel. Az ábrából látható, hogy a leszivárgás sebessége a térfogatsúly emelkedésével arányosan csökken; a csökkenés mértéke a legnagyobb a kis szemcsésű durva homokban és viszonylag a legkisebb a vályogos homokban.

Az  $n = f(d)$  függvény az egyenes egyenletével jellemezhető:

$$n = a' + b' \cdot d, \quad (15)$$

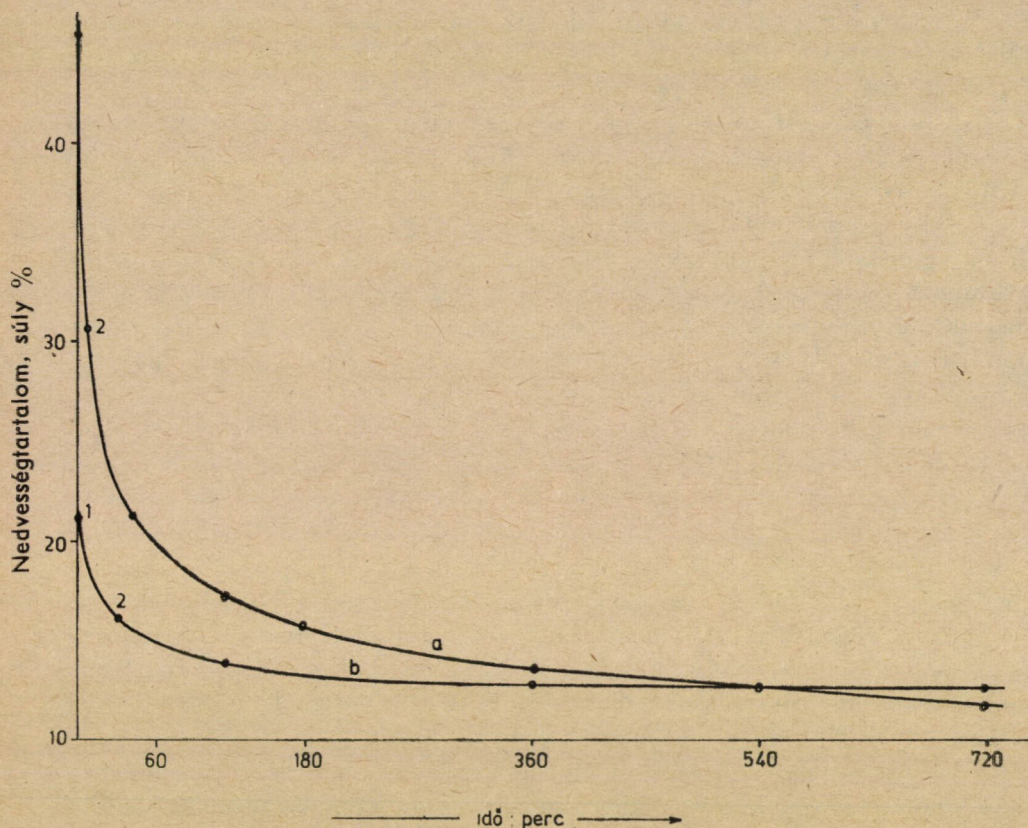
A (15) egyenlet  $a'$  és  $b'$  állandójának számszerű értéke a különböző szemcseösszetételű homoktalajokra az alábbi módon alakul:

L. r. %	$a'$	$b'$
< 5	0,5034	-0,2497
5—10	0,4046	-0,2023
10—15	0,2833	-0,1398
15—25	0,2608	-0,1271

Példának a beázott talajban visszamaradó nedvesség mennyiségi változására az első 12 órában, az 1,2 és 1,7 térfogatsúlyú kis szemcsésű homokra érvényes görbéket tüntetjük fel a 7. ábrán. A hiperbolaszerű görbék az első 10 percben meredeken csökkennek (az 1,2 térfogatsúlyú homokban 7, az 1,7 térfogatsúlyúban pedig 4 perc elteltével éri el a nedvességtartalom a  $V_{k_{\text{kap}}}$ -nak megfelelő nedvességi állapotot), majd ellaposodva a nedvesség további leszivárgása a gravitációs-kapilláris pórusokból nagyon lelassul.

Az 1,4 térfogatsúlyig mind a négy fizikai homokféleségben a beázást követően már percek alatt eléri a KOPECKY által megkövetelt 12 térf.-%-ot a talaj levegőtartalma. Két-három óra alatt alakul ki ez az állapot még az 1,7 térfogatsúlyú kis szemcsésű durva homokban is. Ennek a követelménynek a kis, közepes szemcsésű homok az 1,5—1,6 térfogatsúly intervallumban, az ennél kötöttebbek már csak 1,5 térfogatsúlyig tesznek eleget. Hat órát meghaladó levegőtlenység lép fel az 1,6-nál nagyobb térfogatsúlyú kis, közepes szemcsésű, valamint az 1,5-nél nagyobb térfogatsúlyú kis szemcsésű és vályogos homokokban. Ez utóbbiak porozitásvizonyai olyanok (lásd a VII. táblázaton), hogy tömött állapotban ( $d = 1,7$ ) csupán 6 nap alatt, a  $V_{k_{\min}}$  nedvességi állapotában alakul ki a 12 térf.-% levegővel telt pórustér.

Az elmondottak jól egyeznek FEKETE (1966) megfigyeléseivel, aki meghatározott körülmények között homoktalajokon is létrejövő felszíni lefolyást és eróziós károkat a víz lassú leszivárgásával hozza összefüggésbe.



7. ábra: Kis szemcséjű durva homok (L. r. = 5%) nedvességtartalom változása a leszivárgás kezdeti szakaszában, ha a talaj térfogatsúlya,  $d = 1,2$  (a), illetve  $1,7$  (b).  
Jelölés: 1:  $V_{k_{max}}$ , 2:  $V_{k_{kap}}$

A homoktalajok gravitációs-kapilláris pórustereiből ( $P_{g-kap}$ ) lassan leszivárgó víznek — minden olyan esetben, amikor a talajréteg tömörsége nem akadályozza a növények gyökereinek fejlődését és a növényeket túl hosszú ideig tartó levegőtlenység sem károsítja — fontos szerepe van a növények átmeneti vízellátásában, mert ez a növények számára legkönnyebben felvehető víz.

#### A talaj térfogatsúlyának változása természetes folyamatokban és emberi tevékenység következtében

A környezetével egyensúlyba került homok feltalaja az egymást követő beázás és száradás folyamán a kötöttebb talajokhoz képest nem sokat változik. Az ember földművelő tevékenysége során, igyekezve minél jobb körülményeket biztosítani a természetett növények számára, a talaj térfogatsúlyát megváltoztatja: szántáskor csökkenti és a talaj tömörítésekor pedig növeli. Altalajlazításkor pedig a befolyását a térfogatsúlyviszonyokra az altalajra is kiterjeszti.

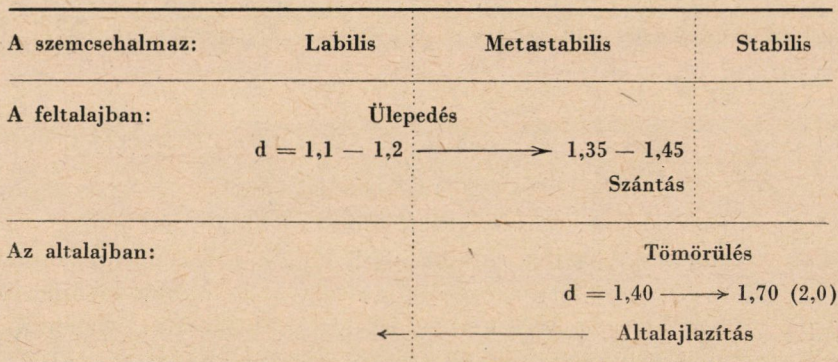
Az ülepedés és tömörülés természetes folyamatában azután a fellazított talaj térfogatsúlya újból a megbolygatott egyensúlyi állapotnak megfelelő érték felé tendál.

A kialakuló fiziko-mechanikai egyensúlyi állapotok jól értelmezhetők az „ideális talaj” modellje alapján. Szántás után közvetlenül a homoktalajok térfogatsúlya kb. 1,1–1,2 (a leiszapolható rész mennyiségétől, I/A arányától, szervesanyag-tartalmától függően). Ez megfelel a talajrészecskék térbeli elrendeződése instabil állapotának. Ezután a talaj a csapadékviszonyoktól függően különböző sebességgel és anyagi összetételétől függően különböző mértékben ülepedik. A tenyészidő végére általában eléri a  $d = 1,35–1,45$  térfogatsúlyt, ami a talajrészecskék laza illeszkedésének felel meg, és ilyenkor a homoktalajok metastabilis állapotban vannak.

A mélyebb talajrétegek térfogatsúlya a felettük levő talajtömegek rájuk nehezedő súlya következtében általában 1,4-nél nagyobb, de ez lehet egyes talajképző folyamatok következménye is; így az agyagbemosódásos erdőtalajok B-szintje nagyon tömött. A talajrészecskék térbeli elrendeződése tömött és a stabilis állapot felé törekszik. A növénytermesztés szempontjából számba jövő mélységig természetesen nem éri el a legtömöttebb illeszkedésnek megfelelő 2,0 térfogatsúlyt. A tömött talajrétegek térfogatsúlya altalajlazítással csökkenthető, és ezzel a műveléssel az ember az altalajban a metastabilis állapot minél tartósabb fenntartására törekszik. Ezeket a viszonyokat vázlatosan a 8. ábrán szemléltetjük.

Természetesen vannak olyan képződmények is, amelyek laza szemcsehalmazoknak tekinthetők. Az ezekben kialakult homoktalajok altalaja kevésbé tömött és nem igényel altalajlazítást a növények életkörülményeinek megjavítására.

Az altalajlazítással kapcsolatban fontos kérdés, hogy milyen mértékben csökkenti a térfogatsúlyt és mennyi időre terjed a hatása. Csak kevés adatunk



8. ábra. A művelés és a talaj térfogatsúlya közötti összefüggés



## X. táblázat

Homoktalajok térfogatsúlyának változása altalajlazítás következtében

A kísérlet helye	A lazítás után eltelt idő	A talaj	Réteg, cm	Térfogatsúly	
				Term.	Lazított
				szelvény	
a) Kisparcellás kísérlet:					
Kísérleti telep, Őrszentmiklós	6 hónap	Kis szemcséjű durva homok	0—10	1,53	1,45
			12—22	1,58	1,40
			23—33	1,62	1,38
			34—44	1,57	1,38
b) Üzemi kísérletek:					
Taksonyi ÁG, Erőspuszta	1 hónap	Kis szemcséjű durva homok	0—20	1,43	1,42
			20—50	1,56	1,39
			50—80	1,58	1,39
Taksonyi ÁG, Hermina major	1 év	Kis szemcséjű durva homok	0—20	1,31	1,32
			20—50	1,38	1,31
			50—80	1,37	1,26
Taksonyi ÁG, Hermina major	1 hónap	Vályogos homok	0—20	1,25	1,19
			20—50	1,35	1,18
			50—80	1,34	1,18
Lábodi ÁG, Somogy m.	1 hónap	Kis, közepes szemcséjű homok	0—20	1,42	1,35
			20—50	1,46	1,35
			50—80	1,53	1,44
Nyírmadai ÁG, Nyírség	1 hónap	Kis, közepes szemcséjű homok	0—20	1,43	1,38
			20—50	1,54	1,35
			50—80	1,52	1,42

van ezen a téren. Néhány szabadföldi kísérlet eredményét a X. táblázaton találjuk.

Ezekből az adatokból csupán azt lehet megállapítani, hogy az altalajlazítás mértéke a természetes homokszelvény térfogatsúly viszonyaival áll összefüggésben. Még kiterjedt kutatásra van szükség a gyakorlati mezőgazdaság számos fontos kérdésének tisztázására, amelyek közül kétségtelenül egyike a legfontosabbaknak a homoktalajok anyagi összetétele (szemcseösszetétel, humusz-, méisztartalom stb.) és az altalajlazítás mértéke közötti összefüggés, valamint az altalajlazítás tartamhatásának megállapítása különböző típusú talajokra.

A kis szemcséjű durva homok és a kis, közepes szemcséjű homok újbóli tömörítése szántás után, túlzott levegőzöttségük csökkentése szempontjából indokolt. Mintegy 1,5-nek tekinthető az a térfogatsúly, amelyen túl a homoktalajok lazítása indokolt fizikai sajátságaiak előnytelen alakulása következtében. A 10%-nál kevesebb leiszapolható részt tartalmazó homoktalajok a növények gyökereinek fejlődése szempontjából DVORACEK és DVORACEKNÉ (1961) megállapításai nyomán rideg közegnek tekintendők; ezeknek a lazítása elsősorban ebből a szempontból megokolt.

Bár lazítással a homoktalajok vízraktározó képessége csökken, de ugyanakkor vízáteresztésük fokozódik, mélyebben áznak be és az így létrejövő nagyobb vízkészlet jobban hasznosul a növények számára.

Kutatásainknak az volt a célja, hogy megvessük a homoktalajok korszerű művelésének és fizikai javításának elméleti alapjait.

### Összefoglalás

A homoktalajok változó fizikai sajátságai és térfogatsúlya közötti összefüggéseket vizsgáltuk. A változó és egyben megváltoztatható fizikai sajátságok közé a talaj differenciális porozitását, természetes vízkapacitását (vízkészletét), vízáteresztő képességét és levegőzöttségét soroljuk.

A vizsgált homoktalajokat a leiszapolható rész (L.r.) mennyisége alapján négy csoportba soroltuk. Ezek: kis szemcséjű durva homok (L.r. <5%), kis, közepes szemcséjű homok (L.r. = 5–10%), kis szemcséjű homok (L.r. = 10–15%) és végül a vályogos homok (L.r. = 15–25%).

Mintegy 30 szelvény — amelyek különböző genetikai típusba tartoznak és hazánk két nagy homoktájára, a Duna–Tisza közére és a Nyírségre jellemzőek — részletes fizikai vizsgálatának eredményeit értékeltük.

Megállapítottuk, hogy mind a kapilláris ( $V_{k_{kap}}$ ), mind a minimális ( $V_{k_{min}}$ ) vízkapacitás súly-%-ban kifejezve szorosan összefügg a homoktalajok térfogatsúlyával ( $d$ ): ez az összefüggés lineáris. Az egyenletek állandóinak számértékét a III. táblázat tartalmazza.

Ezek az összefüggések részben az „ideális talaj” azonos méretű gömb alakú részecskéinek laza és tömött elrendezésével magyarázhatók.

Tekintettel arra, hogy az intézetünkben kidolgozott póruster beosztás [8] alapján a  $V_{k_{kap}}$  a gravitációs és a  $V_{k_{min}}$  a gravitációs-kapilláris porozitás ( $P_g$  és  $P_{g-kap}$ ) alsó határát képezi, a talált összefüggések egyben lehetővé teszik a differenciális porozitás és térfogatsúly közötti összefüggés mennyiségi jellemzését is.

A 10%-nál kevesebb leiszapolható részt tartalmazó homoktalajok vízáteresztése ( $V_a$ ) lineárisan változik a térfogatsúllyal. Az ezeknél kötöttebb (L.r. = 10–25%) homoktalajok vízáteresztését ebben a vonatkozásban hiperbolaszerű görbék jellemzik. A vízáteresztő képesség egyenletének típusait és állandóik számszerű értékét az V. táblázaton tüntettük fel.

Az altalajvíz által nem befolyásolt homoktalajszelvények vízkészlete általában jól egyezik a  $V_{k_{min}}$  alapján számítottal. Jelentősebb eltérést olyan heterogén szemcseösszetételű homokszelvényekben várhatunk, amelyekben a környező homokénál kötöttebb közttes réteg van. Ezeknek a természetes vízkapacitása nagyobb a  $V_{k_{min}}$ -nál.

A homoktalajok levegőzöttsége általában jó, sőt túl jó. Tömött rétegekben ennek ellenére átmeneti levegőtlenység jöhet létre.

Az „ideális talaj” talajmechanikai modellje alapján értelmeztük a természetes folyamatokban (ülepedés, tömörülés) és a talajmunka (szántás, altalajlazítás) nyomán változó (lazítás, tömörítés) térfogatsúly viszonyokat homoktalajokban. Ezekben a folyamatokban a talajrészecskék térbeli elrendeződésének labilis, metastabilis és stabilis állapotát különböztettük meg.

Igyekezünk a homoktalajok korszerű műveléséhez és javításához megfelelő alapot szolgáltatni.

## IRODALOM

- ANTAL J.—EGERSZEGI S.—PENYIGEY D. (1966): Növénytermesztés homokon. II. fejezet: Talajfizikai tulajdonságok. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 23—30. old.
- BAVER, L. D. (1948): Soil Physics, New York—London, Second Edition,
- BOTVAY K.: Adatok az alföldi homoktalajaink kapilláris vízemelőképességének értékeléséhez. *Agrokémia és Talajtan*, (1955), 4, 2. 419—432.
- DI GLÉRIA, J.—KLIMES-SZMIK A.—DVORACEK M. (1957): Talajfizika és Talajkolloidika, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- DVORACEK M.—DVORACEK M.-né (1961): Az altalajlazítás hatása és hatásmechanizmusa homokon. *Agrokémia és Talajtan*. 10. 1. 67—84.
- KLIMES-SZMIK A. (1958): Die Bedeutung von natürlichen und künstlichen organischen Substanzen für die Entstehung der krümeligen Bodenstruktur. Arbeitstagung in Müncheberg 10—11. X. 1957. Tagungsberichte Nr. 13. DAL Berlin, 271—278.
- KLIMES-SZMIK A. (1963): Die Einteilung des Porenraumes in Böden auf Grund der Bewegung des Wassers. *Acta Agron.* XII. 1—2. 51—65.
- KLIMES-SZMIK A. (1964): Über die Einteilung des Porenraumes und den Zusammenhang zwischen den Porenverhältnissen und dem genetischen Bodentyp. *Agrokémia és Talajtan*, 13. Supplementum 11—18.
- KLIMES-SZMIK A. (1969): Fizikai talajvizsgálatok a földművelés, talajjavítás és öntözés vonatkozásában. Budapest, (Kézirat).
- KOPECKY J. (1927): Investigations of the relations of water to soil. *Proc. 1<sup>st</sup> Intern. Congr. Soil Sci.*, I: 495—503.
- NERPIN, Sz. V.—MELNYIKOVA, M. K. (1957): Ravnoveszie i dvizsenie vlagi b pocsvah i gruntah. (Voproszű Agronomicseszkoy Fiziki), Leningrad, 41—55.
- SIGMOND E. (1934): Általános Talajtan. Budapest.
- STEFANOVITS P. (1963): Magyarország talajai. 2. bővített, átdolgozott kiadás. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- STEFANOVITS P. (1966): Hazánk homoktalajainak jellemzése. (Antal—Egerszegi—Penyigey: „Növénytermesztés homokon” c. könyvének I. fejezete, 9—22 old.), Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- SZELÉNYI F. (1954): Laboratóriumi vizsgálati módszerek a talajok levegő- és vízgazdálkodási adottságainak meghatározására. *Agrokémia és Talajtan*, 3. 235—252.
- SZELÉNYI F. (1957): A túlöntözés veszélyének kérdése laboratóriumi vizsgálatok tükrében. A Debreceni Mezőgazdasági Akadémia Tudományos Évkönyve, Mezőgazdasági Kiadó, 195—240.
- Talaj- és trágyavizsgálati módszerkönyv (1962). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- TYUREMNOV Sz. N. (1923): Godovoj hod vlasznoszti i vlijajuscsie na nyeva uszlovija v zapadnopredkavkazkom vücselocsennom csernozjome. *Tr. Kubanszk. sz.-h. in-ta.* Tom. 1, Vüp. 2. Krasznodar.
- ZUNKER F. (1933): Die Durchlässigkeitkeit des Bodens. *Trans. 6<sup>th</sup> Comm. Intern. Soc. Soil Sci.* Vol. B, 18—43. Groningen.

## ИЗМЕНЯЮЩИЕСЯ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ

А. КЛИМЕШ-СМИК

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии А. Н. Венгрии, Будапешт

### РЕЗЮМЕ

Изменяющимися физическими свойствами почвы называем свойства, зависящие от ее объемного веса. Таковыми являются: дифференциальная порозность почвы, естественная влагоемкость (запас воды), водопроницаемость, аэрированность.

На основе данных подробных исследований 30-ти почвенных разрезов, представляющих собой различные генетические почвенные типы и происходящих из двух больших песчаных областей Венгрии, можно сделать следующие выводы:

На основе содержания физической глины (Л. г.) или на основе процентного соотношения илистой и глинистой фракций изученные песчаные почвы можно разделить на четыре подкласса: мелкозернистый грубый песок (Л. г. 5%), мелко- и среднезернистый песок (Л. г. = 5—10%), мелкозернистый песок (Л. г. = 10—15%) и супесь (Л. г. = 15—25%).

Тесная связь наблюдается между капиллярной влагоемкостью ( $VK_{\text{kap}}$ ) и минимальной влагоемкостью ( $VK_{\text{min}}$ ) выраженных в весовых процентах и объемным весом почвы ( $d$ ); между ними имеется линейная зависимость. Числовые значения почвенных, выходящих в уравнения приводятся в таблице № III.

На основании классификации порозности, разработанной в нашем институте (8),  $VK_{\text{kap}}$  представляет собой нижнюю границу гравитационной порозности ( $P_g$ ), а  $VK_{\text{kap}}$  — нижнюю границу гравитационно-капиллярной порозности ( $P_{g-\text{kap}}$ ). Это дает возможность для количественной характеристики зависимости между дифференциальной порозностью и объемным весом.

Водопроницаемость песчаных почв, содержащих физической глины менее 10% показывает линейную зависимость с объемным весом. Водопроницаемость песчаных почв, содержащих физической глины более 10% характеризуется гиперболической кривой. Типы уравнений водопроницаемости и величины постоянных, входящих в эти уравнения приводятся в таблице № V.

Вычисленные математические зависимости частью можно объяснить рыхлым и плотным сложением шаровидных частичек одинакового размера в «идеальной почве».

Аэрированность песчаных почв в основном хорошая, но в уплотненных песчаных горизонтах может наблюдаться временная неудовлетворительная аэрация.

Результаты наших исследований позволяют приблизительно оценить в песчаных почвах размеры уплотнения и (или) рыхления при проведении обработки почвы, с особым вниманием на изменение физических свойств, наступающих в результате глубокого рыхления.

## ÜBER DIE VERÄNDERLICHEN PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN DER SANDBÖDEN

А. КЛИМЕС-СЗМИК

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest.

### ZUSAMMENFASSUNG

Als veränderlich und auch veränderbar werden diejenigen Eigenschaften bezeichnet, welche vom Volumgewicht des Bodens abhängen. Solche sind, wie folgt: die Verteilung der Poren im Gesamtporenvolumen, die Feldkapazität (und der Wasservorrat im Profil), die Durchlässigkeit für Wasser und die Verhältnisse der Belüftung.

Unsere Feststellungen beziehen sich auf Ergebnisse systematisch durchgeführter physikalischer Untersuchungen von mehr als 30, verschiedenen genetischen Typen angehörenden und aus zwei grossen Sandgebieten Ungarns stammenden Bodenprofile.

Die untersuchten Sandböden wurden, auf Grund des in Gewichtsprozenten ausgedrückten abschlämmbaren Anteils (a. A., welcher die Summe der Ton- und Schlufffraktion in der Kornzusammensetzung des Bodens darstellt) in vier Textursubklassen eingeordnet. Diese sind: der feinkörnige Grobsand (a. A. < 5%), der feine Sand (a. A. = 5—10%), der feinkörnige Feinsand (a. A. = 10—15%) und der schluffige Sand (a. A. = 15—25%).

Die kapillare und die minimale Wasserkapazität ( $WK_{\text{kap}}$  und  $WK_{\text{min}}$ ) in Gewichtspro-

zentezen zeigen linearen Zusammenhang mit dem Volumgewicht ( $d$ ) der Sandböden. Die numerischen Werte der Konstanten der Gleichungen sind in Tabelle III. angeführt.

Laut der in unserem Institut erarbeiteten Porenraumklassifikation (8) wurde die  $WK_{kap}$  als die untere Grenze der Gravitations- ( $P_g$ ) und die  $WK_{min}$  als die untere Grenze der Gravitationskapillaren ( $P_{g-kap}$ ) Porosität bezeichnet. Infolge dessen lassen sich die Änderungen in der Porenverteilung in Zusammenhang mit der Veränderung des Raumgewichtes quantitativ erfassen.

Die Durchlässigkeit derjenigen Sandböden für Wasser, welche weniger als 10% von dem abschlämmbaren Anteil enthalten, weisen linearen Zusammenhang mit dem Raumgewicht auf. Dieser Zusammenhang für Sandböden, welche mehr als 10% von dem abschlämmbaren Anteil enthalten ist durch hyperbelähnliche Kurven charakterisiert. Die Typen der Gleichungen und die zahlenmässigen Werte der betreffenden Konstanten wurden in Tabelle V. angeführt.

Der physikalische Inhalt der von uns abgeleiteten mathematischen Zusammenhänge kann teilweise auf Grund des aus der Bodenmechanik bekannten Modells des sog. »idealen Bodens«<sup>1</sup> gedeutet werden.

Unsere, im Laboratorium bestimmte  $W_{min}$  fällt mit der Feldkapazität in von dem kapillaren Wasserhub nicht beeinflussten Profilen der Sandböden zufriedenstellend überein.

Die Durchlüftung der Sandböden ist im allgemeinen gut, sogar zu gut unmittelbar nach dem Pflügen. Doch können in kompakten Schichten zeitweilig luftarme Verhältnisse zustande kommen.

Auf Grund der von uns festgestellten quantitativen Zusammenhängen zwischen wichtigen physikalischen Eigenschaften und Raumgewicht der Sandböden wird ermöglicht die Folgen der Kompaktation und Auflockerung (beim Pflügen und Untergrundlockerung) abzuschätzen.

## ON CHANGEABLE PHYSICAL PROPERTIES OF SANDY SOILS

A. KLIMES-SZMIK

Research Institute of Pedology and Agrochemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest.

### SUMMARY

Changeable physical characteristics are named which depend upon the volume weight of the soil. These are: the pore size distribution, field capacity (water storage), permeability to water and aeration.

On basis of data obtained from detailed investigations of the physical properties of about 30 profiles belonging to different genetic soil types and located in two great sandy soil regions in Hungary, the results obtained are as follows.

We classified the investigated sandy soils on basis of the percentage of the sum of the clay and silt fraction (the so called physical clay: Ph. C.). They were divided into 4 subclasses: small grained coarse sand (Ph. C.  $> 5\%$ ), fine sand (Ph. C. = 5–10%), small grained fine sand (Ph. C. = 10–15%) and loamy sand (Ph. C. = 15–25%) respectively.

Both capillary ( $WHC_{cap}$ ) and minimal ( $WHC_{min}$ ) water holding capacity expressed in % by weight are closely related to the volume weight ( $d$ ) in sandy soils, existing linear correlation between them. The numerical values of the equation constants are indicated in Table III.

According to the soil pore space classification developed in our Institute (8) the  $WHC_{cap}$  is the lower limit of the gravitational ( $P_g$ ) and the  $WHC_{min}$  that of the grav.-capillary ( $P_{g-cap}$ ) porosity. This makes possible to calculate the changes introduced by the changes of the volume weight.

Permeability of sandy soils containing less than 10% of physical clay is in linear correlation with the volume weight. The permeability of those with more than 10% of physical clay content are characterized with curves of hyperbolic nature. The type of permeability equations and the numerical values of the corresponding equation constants are indicated in Table V.

The mathematical functions developed partly can be motivated by the open- and close-packed state of uniform spheres in an ideal soil.

The conditions of aeration are generally favourable in sandy soils, but in compacted layers may prevail temporarily bad conditions.

With the aid of our results of investigation it was made possible to estimate the consequences of the compactation and/or loosening effect brought about in field operations with special regard to the subsolation.