

A hidraulikus vezetőképesség összefüggése a talajok nedvességtartalmával és szemcseösszetételével

E. VETTERLEIN

NDK Mezőgazdasági Akadémiájának Münchebergi Talajtermékenységi Kutatóközpontja,
Talajtani és Távérzékelési Részleg, Eberswalde (NDK)

A vízraktározó képességen kívül a hidraulikus vezetőképesség az a legfontosabb talajsajátság, amely a talaj vízforgalmát és a növények vízellátását alapvetően befolyásolja. A hidraulikus vezetőképesség az anyagra jellemző függvénye a talaj vízszívó erejének vagy nedvességtartalmának. Ez az összefüggés a talaj szívóerejével általában nem lineáris, és a megfelelő függvényt nem lehet egyszerűen előállítani. Ezzel szemben a hidraulikus vezetőképesség összefüggése a talaj nedvességtartalmával teljes egészében — de legalábbis meghatározott nedvességtartományokra — egyszerű lineáris regresszióval leírható. Az ábrázolásnak ez a módja ezért nagyon alkalmas a nedvességtartalom és a szemcseösszetétel kombinált hatásának mennyiségi jellemzésére. Az eredmények egyrészt a szemcseösszetételnek a hidraulikus vezetőképességre gyakorolt befolyása becslésére, másrészt annak megközelítő számítására szolgáló eljárásokhoz használhatók fel.

Talajok és vizsgálati módszerek

- A talajkeverékeket az alábbi humuszmentes alapanyagokból állítottuk össze:
- finom homokot is tartalmazó közepes szemcséjű homok (kH): C-szint, pleisztocén üledék Berlintonól északra;
 - kevés iszapot tartalmazó finom homok (fH): C-szint, pleisztocén dűnehomok Berlintonól északra;
 - vályog (vályog): B_f -szint, morénalerakódás Berlintonól északra;
 - iszapos agyag (agyag): agyagos oligocén képződmény az Odera-völgy peremén;
 - vályogos iszap (lösz): C-szint, Magdeburgtól délre.

Az alapanyagok szemcseösszetételét az 1., a szívóerő függvényében mért nedvességtartalmuk és vízvezető képességük adatait a 2. táblázat tünteti fel. Az egyes talajkeverékek szemcseösszetétele az alapanyagok keverési arányából kiszámítható.

A talajkeverékeket minden esetben az alapanyagok nedves, illetve pépes állapotában készítettük el úgy, hogy a homokokhoz (kH és fH) száraz tömegükre

1. táblázat
Az alapanyagok néhány fizikai jellemzője

(1) Alap- anyag	(2) Mechanikai összetétel, %							(3) BLOEMEN- féle „f” index	(4) d_d , g/ml
	2000– 630	630– 200	200– 63	63– 20	20– 6	6–2	<2		
	szemcseátmérő, μm								
a) Közepes szemcséjű homok	10,75	46,63	33,90	3,75	2,62	0,85	1,50	0,820	1,78
b) Finom homok	1,32	7,90	78,50	8,50	1,97	0,89	0,92	1,432	1,68
c) Vályog	5,46	14,85	20,81	10,37	9,70	7,05	31,82	0,186	1,60
d) Agyag	0,0	1,95	3,88	18,73	15,94	15,35	44,15	0,201	1,22
e) Löss	0,76	2,40	3,62	47,87	27,71	6,12	11,52	0,584	1,57

számítva 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 50 vagy 70%-nyi mennyiséget kevertünk a vályogból, az agyagból, vagy a löszből. Így 6 keveréksorozatot kaptunk, összesen 66 különböző szemcseösszetételű taggal. Ehhez csatlakozik még az 5 alapanyag.

A vizsgálati anyagok szemcseösszetételének jellemzésére az alábbi talajfizikai paramétereket használtuk:

- a „leiszapolható rész” (L_r) = a 20 μm -nél kisebb szemcsék;
- a talaj finom része (F) = a 6 μm -nél kisebb szemcsék;
- az agyagtartalom (A) = a 2 μm -nél kisebb frakció;
- a BLOEMEN-féle (1980) szemcseeloszlási „f” index;
- a fiktív szemcseátmérő: d_{60} .

2. táblázat

A talajkeverékek különböző szívóerőnél mért nedvességtartalma (Θ) és vízvezető képessége

(1) $h\sigma$, m	Θ , térfogat-%					lg K , mm/nap				
	kH	fH	V	A	L	kH	fH	V	A	L
0	32,6	36,4	39,4	47,9	31,8	3,30	2,64	-1,10	-1,22	-0,12
0,5	12,0	33,3	39,4	47,9	31,8	0,47	2,31	-1,15	-1,32	-0,12
1	8,6	19,2	39,1	47,8	31,8	-0,65	1,00	-1,28	-1,40	-0,12
1,5	7,1	12,8	38,5	47,3	31,7	-1,07	0,10	-1,42	-1,48	-0,12
2	6,4	9,3	38,0	47,0	31,4	-1,30	-0,65	-1,52	-1,54	-0,13
3	5,6	6,4	37,4	46,5	31,0	-1,62	-1,61	-1,66	-1,66	-0,18
5	4,8	4,6	36,6	45,8	30,0	-2,06	-2,49	-1,88	-1,75	-0,49
8	4,3	4,0	35,7	44,9	27,1	-2,46	-2,93	-2,09	-1,93	-1,18
15	3,7	3,3	34,4	43,4	19,5	-3,00	-3,48	-2,52	-2,26	-2,16
20	3,4	3,2	33,6	42,6	17,3	-3,23	-3,64	-2,75	-2,50	-2,55
30	3,0	2,8	32,4	41,0	15,6	-3,56	-3,93	-3,08	-2,86	-3,06
50	2,6	2,3	30,6	39,1	13,8	-3,94	-4,39	-3,51	-3,40	-3,54
80	2,3	1,8	29,0	37,1	12,4	-4,28	-4,77	-3,92	-3,86	-3,91
150	1,8	1,4	27,0	34,1	10,4	-4,72	-5,01	-4,39	-4,33	-4,40

kH: közepes szemcséjű homok; fH: finom homok; V: vályog; A: agyag; L: lösz

A hidraulikus vezetőképességet a „kettős szívólap” és a „kettős membrán” készülékkel (VETTERLEIN, 1968) mértük a talaj vízszívó erejének (h_a) a 2. táblázatban feltüntetett különböző szintjein a 0—150 m-es intervallumban. A vízzel teljesen telített talaj hidraulikus vezetőképességét ($K_o = K_f$) a mintavevő hengerekbe töltött talajmintákon állandó vízborítással külön határoztuk meg. Minden mérést 6 ismétléssel végeztünk, és az egyes mérések eredményének a geometriai középértékét számítottuk.

A továbbiakban számításainkhoz kizárólag a hidraulikus vezetőképesség logaritmusát ($\lg K$), és a nedvességtartalom (Θ) térfogat-%-ban kifejezett értékeit, illetve ezek logaritmusát, vagy a vízzel telítettség mértékét ($T = \Theta/\Theta_T$), illetve ennek logaritmusát használjuk.

Eredmények

1. A hidraulikus vezetőképesség és a nedvességtartalom közötti összefüggések

Az egyes talajkeverékekre vonatkozó mérési pontok ($\lg K_i = Y_i$; $\lg \Theta_i$ — vagy $\lg T_i$ — $= X_i$) grafikus ábrázolásakor közel lineáris összefüggések állapíthatók meg. Ezeket az összefüggéseket mindegyik talajkeverékre lineáris regresszió számításával határoztuk meg. A számításokból a $K_i < 10^{-4}$ mm/nap, és a $K_i > 1$ mm/nap értékeket a nagyságrendek fokozott mérési hibái (VETTERLEIN, 1968) miatt kizártuk. A mérőmódszer különbözősége miatt ugyanígy jártunk el a vízzel teljesen telített talajban mért k_f értékekkel is.

A keveréksorozatok szerint csoportosított egyes regressziók determinációs (meghatározottsági) együtthatóinak középértékei (r^2) szoros lineáris összefüggésekről tanúskodnak (3. táblázat).

A mért adatok szórásának középértéke: $\bar{s}_R = 0,17$. A legnagyobb szórást ($\bar{s}_R = 0,29$) a determinációs együtthatóval összhangban a finom homok—lössz keverékeknél találjuk. Itt nem fokozott mértékű véletlen szórásokról van szó, hanem azoknak egy rendszeres trendjéről, ami a finom homok és a lösz jellemzője; ugyanis a regressziós egyenes meredekségének (m_R) a nagyobb víztartalmaknál fellépő

3. táblázat

A $\lg K = f(\lg \Theta)$ lineáris regressziók determinációs együtthatóinak (r^2) és maradékszórásainak (\bar{s}_R) középértékei

(1) Alapanyag	r^2			\bar{s}_R		
	kH	fH	kH + fH	kH	fH	kH + fH
a) Vályog	0,993	0,973	0,983	0,100	0,222	0,161
b) Agyag	0,993	0,984	0,989	0,082	0,165	0,124
c) Lössz	0,986	0,970	0,978	0,156	0,293	0,225
d) Középérték	0,991	0,976	0,983	0,113	0,227	0,170

kH: közepes szemcséjű homok; fH: finom homok

csökkenése ($m_R = \Delta \lg K / \Delta \lg \Theta$) olyan jelenség, amelyre már utaltam (VETTERLEIN, 1983).

Az egyes talajkeverékek szemcseösszetételének befolyása a $\lg K = f(\lg \Theta)$ regressziós egyenesek irányára úgy érvényesül, hogy a talaj finom részének gyarapodásával ezek az egyenesek a nagyobb víztartalmak irányában eltolódnak, és dőlésük ($\text{tg } \gamma = m_R$) egyre meredekebbé válik.

Az 1. ábra a közepes szemcséjű homok—vályog keveréksorozat talajaival mért $\lg K_i = Y_i$; $\Theta = X_i$ értékpárok grafikus ábrázolását tartalmazza. Amint látható, a térfogat-%-os nedvességtartalomnak a $\lg K$ -val való összefüggése nem egyértelműen lineáris. A $\lg K = f(\Theta)$ összefüggés az $F < 10\%$ -kal jellemezhető talajkeverékek (homokok) esetében csak a $\lg K < -2$ értékekre korlátozott tartományban érvényes lineáris kapcsolatot. Azoknál a talajkeverékeknél, amelyekben $F > 10\%$ (az 1. ábrán bemutatott példán a 20%-nál több vályogot tartalmazó keverékek), a kapcsolat ugyanolyan jó, vagy még szorosabb összefüggést jelző lineáris regresszióval írható le (4. táblázat).

4. táblázat

A 10%-nál több finom részt tartalmazó talajkeverékek lineáris regressziója [$\lg K = f(\Theta)$] determinációs együtthatóinak (r^2) és maradékszórásainak (\bar{s}_R) középértékei

(1) Alapanyag	r^2			\bar{s}_R		
	kH	fH	kH + fH	kH	fH	kH + fH
a) Vályog	0,991	0,990	0,991	0,116	0,102	0,109
b) Agyag	0,992	0,996	0,994	0,090	0,070	0,080
c) Löss	0,984	0,987	0,986	0,213	0,200	0,207
d) Középérték	0,989	0,991	0,990	0,140	0,124	0,132

kH: közepes szemcséjű homok; fH: finom homok

Ez a tény a mért értékek hibájának figyelembevételével magyarázható, és abból származik, hogy a $\lg \Theta$, illetve a Θ értékeket mutató abszcisszákon a sok finom szemcsét tartalmazó talajok hervadásponjtja és telítettsége közötti intervallum viszonylag kicsi (1. ábra).

A $\lg K = f(\Theta)$ függvények ábrázolásakor feltűnő továbbá az is, hogy a finom szemcsékből 10%-nál többet ($F > 10\%$) tartalmazó talajkeverékek esetén a lineáris regressziókkal jellemezhető tartományban az iránytangens ($\text{tg } \delta = m_\Theta$) körülbelül konstans érték ($\bar{m}_\Theta = 0,21$; $s = 0,03$). Mivel ezenkívül ezeknél az anyagoknál a hervadáspontnak megfelelő szívóerővel ($h_\sigma = 150$ m) egyensúlyban lévő nedvességtartalomnál mért K -értékek ugyancsak megközelítően konstansak ($\lg K_{HV} = -4,35$; $s = 0,08$), az alábbi egyszerű lineáris regresszió érvényes a $\lg K$ és a növények részére felvehető víz (Θ_{DV}) mennyisége közötti összefüggésre ($\Theta_{DV} = \Theta - \Theta_{HV}$):

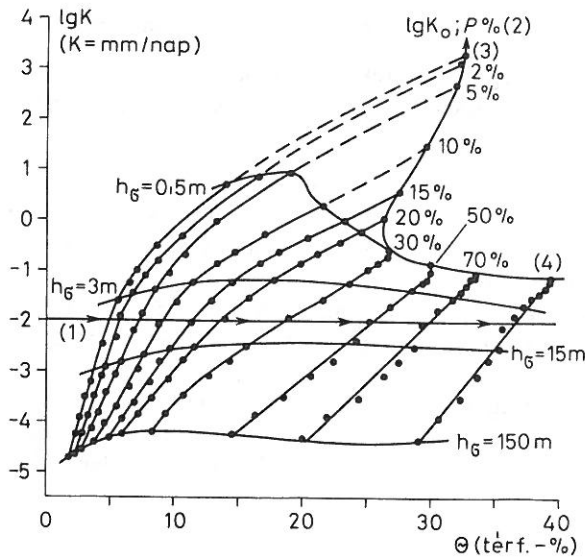
$$\lg K = -4,303 + 0,204 \Theta_{DV}, \quad (1)$$

ahol

$$K = \text{mm/nap}; \quad \Theta = \text{térfogat-\%}$$

$$(n = 230; r^2 = 0,924; s_R = 0,32).$$

(A $\lg K = f(\lg T)$ függvények lineáris regressziós egyenseinek dőlése megegyezik az azonos keverékre érvényes $\lg K = f(\lg \Theta)$ függvényével. A regressziós állandó viszont — mivel az abszcissa értékei negatív előjelűek — mindig a teljes telítettséghez ($T = \Theta_T / \Theta_T = 1$) tartozó $\lg K$ értékével azonos.)



1. ábra

A talaj kapilláris vízvezető képessége a nedvességtartalom függvényében, homok—vályog keveréksorozatra. 1. A $\lg \Theta_{-2}$ -vonal. 2. Az összporozítás mértékéig (teljesen) telített talaj hidraulikus vezetőképességét jelző értékek. 3. Homok. 4. Vályog

2. A szemcseeloszlás befolyása

A $\lg K = f(\lg \Theta)$, és a $\lg K = f(\lg T)$ függvények paramétereinek és a talaj szemcseeloszlásának kapcsolatát vizsgáltuk. A szemcseeloszlásnak a vizsgálati módszereknél felsorolt jellemzői közül az F és az A értékek bizonyultak mint független változók a legmegfelelőbbeknek az ismertett függvények lineáris regressziós egyenseinek dőlését meghatározó regressziós együtthatónak ($b = m_R$), illetve a regressziós állandónak (a_0) mint függő változóknak lineáris regresszióval való számítására.

2.1. Az m_R értékek és a szemcseeloszlás közötti összefüggés. — Az $m_R = \Delta \lg K / \Delta \lg \Theta$, és az $m_R = \Delta \lg K / \Delta \lg T$ regressziós egyenesek dőlése — amint már említettük — azonos, és így nem szükséges azokat külön-külön értékelni. De az összes vályoggal és agyaggal készített talajkeveréket el kell különíteni a lösszel készített talajkeverékek

csoportjától, mert e két csoportnál az m_R -nek az F -fel, illetve az A -val való összefüggése egymástól eltérően alakul.

- Azon homok—vályog és homok—agyag keverékeknél, amelyekben $F > 7\%$, illetve $A > 5\%$, a regressziós egyenesek dőlése ($m_R = \Delta \lg K / \Delta \lg \Theta$) kielégítően szoros lineáris korrelációt mutat F -fel vagy A -val. Ez az összefüggés még szorosabb az $F \cdot \varrho_d$, vagy az $A \cdot \varrho_d$ szorzatokkal (ϱ_d = száraz térfogattömeg, g/ml). Az ezekre vonatkozó regressziós egyenletek paraméterei az 5. táblázatban 1—3. sorszámok alatt találhatók.
- Azokban a homok—vályog és homok—agyag keverékekben, amelyekben $F < 7\%$, a regressziós egyenesek dőlése

$$m_R = \Delta \lg K / \Delta \lg \Theta = 6,6; \text{ konstans érték.}$$

- A homok—lössz mindegyik keveréksorozatában az m_R és az $F \cdot \varrho_d$, illetve az $A \cdot \varrho_d$ közötti regressziók eltérőek a lösz nélküli keverékekétől (5. táblázat 4—5. sorszámú adatok).

2.2. *A regressziós állandók (a_0) és a szemcseeloszlás közötti összefüggés.* — A $\lg K = f(\lg \Theta)$, és a $\lg K = f(\lg T)$ függvények lineáris regresszióinak regressziós állandói (a_0) — ellentétben az m_R értékekkel — alapvetően különböznek egymástól és külön magyarázatot igényelnek.

- A $\lg K = f(\lg \Theta)$ függvény esetében az abszcissza tengelyre $\lg \Theta$ értékeit felvive, a regressziós állandó az a pont, amelyben az egyenes $\lg \Theta = 0$ esetében ($\Theta = 1$ térf.-%) az ordinátát metszi.

Bár a $\lg K = f(\lg \Theta)$ függvények regressziójának regressziós állandói (a_0) a méréshatárokon jóval kívül vannak, a (2) egyenletnek megfelelően szoros összefüggés van a_0 mint függő változó, és F mint független változó között:

$$a_0 = -6,049 - 0,544 F \quad (2)$$

$$(n = 71; r^2 = 0,962; s_R = 1,243).$$

A szoros összefüggés ($r^2 = 0,96$) ellenére a viszonylag nagy maradékszórás ($s_R = 1,24$) miatt a (2) egyenlet nem alkalmas a K -függvény leírására.

A regressziós állandót sokkal pontosabban lehet megállapítani, ha egy, a mérési határok közé eső pont koordinátáit határozzuk meg a finom talajrészecskék mennyiségének függvényében. Ezt a pontot az abszcisszával párhuzamos olyan

5. táblázat

Az m_R , valamint különböző független változók lineáris regresszióinak paraméterei

(1) Anyag	(2) Sorszám	Y	X	a_0	$b = m_R$	r^2	s_R
a) Homok	1.	$\lg m_R$	F	0,750	0,0118	0,895	0,058
b) vályoggal	2.	$\lg m_R$	$F \cdot \varrho_d$	0,696	0,0091	0,930	0,047
c) agyaggal ($F > 7\%$)	3.	$\lg m_R$	$A \cdot \varrho_d$	0,687	0,0120	0,949	0,044
a) Homok	4.	$\lg m_R$	$\lg (F \cdot \varrho_d)$	0,747	0,171	0,788	0,026
d) lösszel	5.	$\lg m_R$	$\lg (A \cdot \varrho_d)$	0,791	0,160	0,813	0,017

egyenesre helyeztük, amely a $\lg K$ ordinátát a $\lg K = -2$ pontban metszi. Ebben az esetben a keresett pont helye az ordinátán mindig $Y_1 = -2$, konstans. A megfelelő abszcisszaérték — amelyet $X_1 = \lg \Theta_{-2}$ -vel jelölünk — az F -fel vagy A -val mint független változóval képezett regressziókból (2. ábra) a (3), vagy a (4) egyenlet alapján határozható meg:

$$\lg \Theta_{-2} = 0,538 + 0,640 \lg F \quad (3)$$

$$(n = 71; r^2 = 0,924; s_R = 0,071).$$

$$\lg \Theta_{-2} = 0,696 + 0,558 \lg A \quad (4)$$

$$(n = 71; r^2 = 0,935; s_R = 0,063).$$

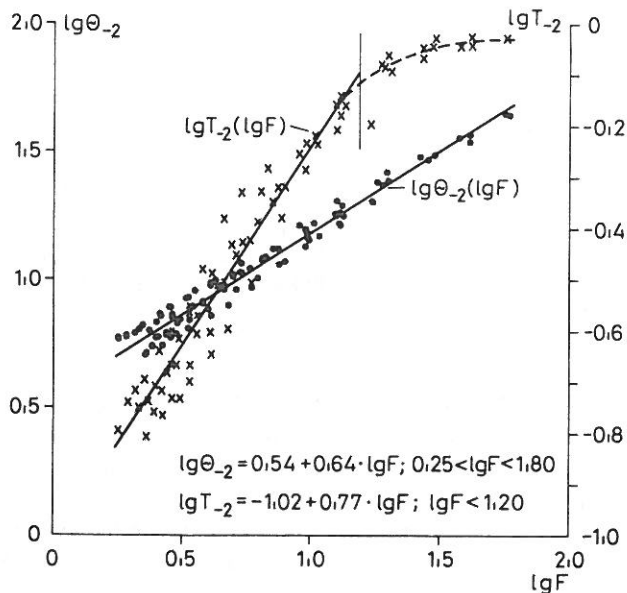
— A $\lg K = f(\lg T)$ függvényénél az abszcisszára a $\lg T$ értékek kerülnek, és a regressziós állandónak megfelelő $\lg K$ érték a regressziós egyenesnek az ordináta tengellyel képzett metszéspontja ($\lg T = 0$) lesz.

A $\lg T$ beosztású abszcisszán a $\lg \Theta_{-2}$ értéknek megfelelő $\lg T_{-2}$ érték csak azoknak a talajkeverékeknek a számára becsülhető meg az (5) egyenletnek megfelelő lineáris regresszióval, amelyekben $F < 15\%$:

$$\lg T_{-2} = -1,017 + 0,772 \lg F \quad (5)$$

$$(n = 58; r^2 = 0,928; s_R = 0,055).$$

Az $F > 15\%$ tartományban a mért adatok nem-lineáris alakulása miatt nem alkalmazható az (5) egyenlet (lásd a 2. ábrát). De annak figyelembevételével, hogy



2. ábra

Osszefüggés a talaj nedvességtartalma (Θ térf.-%), ill. a víztelítettség (T) és a talaj finomszemcse-frakciója ($F\%$) logaritmusai között, $K = 10^{-2}$ mm/nap hidraulikus vezetőképességnél

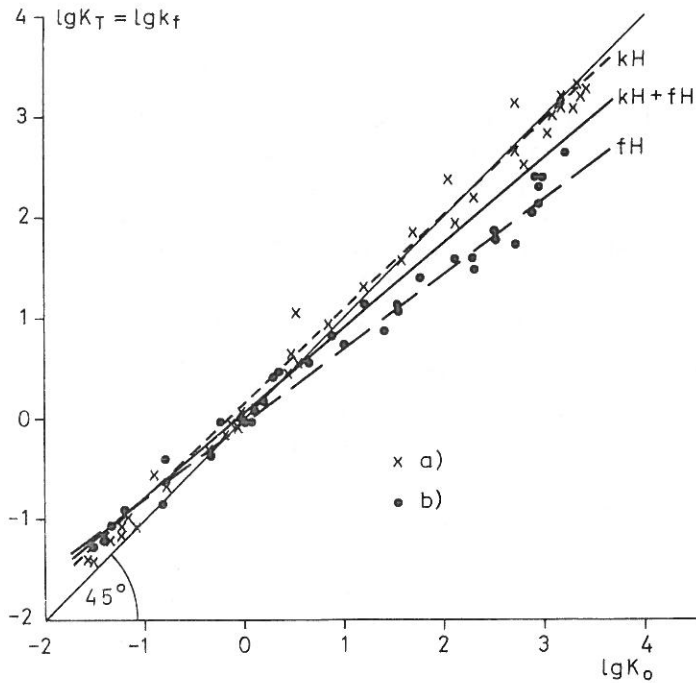
$\lg T_{-2} = \lg \Theta_{-2} - \lg \Theta_T$ -vel, a (3) vagy a (4) egyenlet módosítása lehetőséget ad $\lg T_{-2}$ kiszámítására:

$$\lg T_{-2} = 0,538 + 0,640 \lg F - \lg \Theta_T \quad (6)$$

vagy

$$\lg T_{-2} = 0,696 + 0,558 \lg A - \lg \Theta_T, \quad (7)$$

ahol Θ_T = nedvességtartalom a telítettség állapotában.



3. ábra

A talaj mért (K_T) és számított (K_o) hidraulikus vezetőképessége. Vízszintes tengely: $\lg K_o$ a $\lg K = f(\lg T)$ regressziók alapján, $\lg T = 0$. Függőleges tengely: $\lg K_T$ mért értékek alapján. a) közepes szemcséjű homok (kH) — lösz, vályog, agyag keverékek; b) finom homok (fH) — lösz, vályog, agyag keverékek

— Kézenfekvő a gondolat, hogy a $\lg K = f(\lg T)$ regresszió fix pontjaként a regressziós állandót a szemcseeloszlás jellemzői és a telített talaj K értéke alapján kvantifikáljuk. Itt a K értéket K_o -val jelöljük. Idetartozó, a szemcseeloszlás különböző paramétereivel vizsgált független változók azonban a K_o értéknek a megkövetelt pontossággal történő kiszámítását nem teszik lehetővé. Ezzel szemben szoros összefüggés van a K_o érték és a kísérletileg meghatározott k_f érték között (3. ábra).

A közepes szemcséjű homoknak (kH) vályoggal, agyaggal és lösszel készített keverékei esetében a $\lg K_o$ és $\lg k_f$ értékei közel azonosak. A finom homokkal (fH) készült keveréktalajok k_f értéke, ha azok kevés vályogot, agyagot vagy lösz

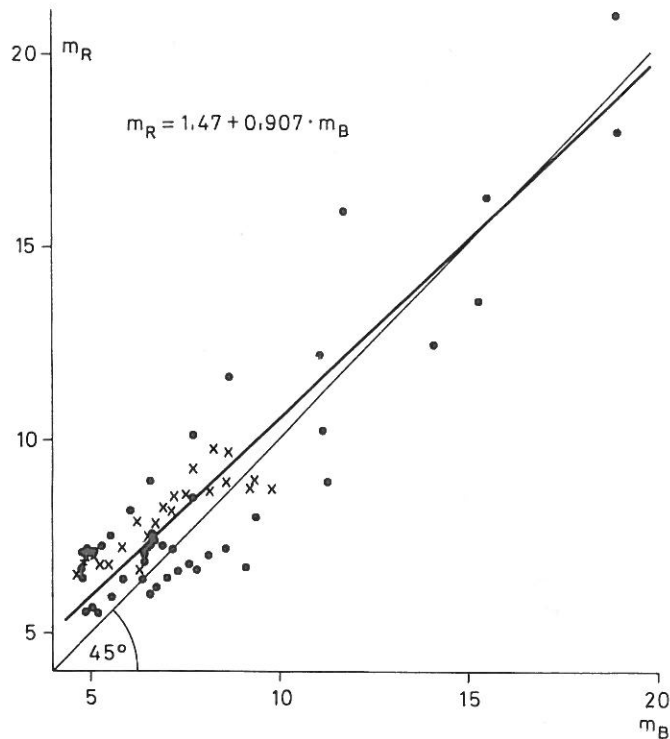
tartalmaznak, a $\lg K_o$ értékeknél mintegy 0,7—0,8 $\lg K$ egységgel kisebb. A sok vályogot vagy agyagot tartalmazó talajkeverékek (amelyekben a $\lg k_f < 0$) k_f értéke mintegy 0,2—0,3 $\lg K$ egységgel nagyobb a megfelelő K_o értéknél. Ez valószínűleg a talajminták teljes telítésekor bekövetkező, a telítetlen állapothoz viszonyítottan erősebb duzzadásnak a következménye.

3. *Eredményeink összehasonlítása BLOEMEN és CAMPBELL számítási módszereivel*

BLOEMEN (1980) a $\lg K = f(\lg T)$ lineáris regressziós egyenesek dőlését (m) a szemcseeloszlásból számítható „ f ” index segítségével az alábbi képlettel határozza meg:

$$m_B = 3 + 0,926 (e^{0,3f} - 1)^{-1} \quad (8)$$

A BLOEMEN által számított m_B értékeket a rendelkezésünkre álló kísérleti anyag alapján összehasonlítottuk az általunk kísérleti úton meghatározott m_R értékekkel. A 4. ábra tanúsága szerint a két érték általában jó egyezést mutat. A 45° dőlésű egyenes az $m_R = m_B$ regresszió maradékszórásán (s_R) belül van:



4. ábra

A regresszióval meghatározott (m_R) és a BLOEMEN szerint számított (m_B) iránytangensek összehasonlítása. $m_R: \lg K = m_R \cdot \lg T + \lg K_o$ lineáris regressziók alapján. m_B : BLOEMEN szerint: $m_B = 3 + 0,926 (e^{0,3f} - 1)^{-1}$ BLOEMEN (1980) szemcseeloszlási f indexéből számítva

$$m_R = 1,471 + 0,907 m_B \quad (9)$$

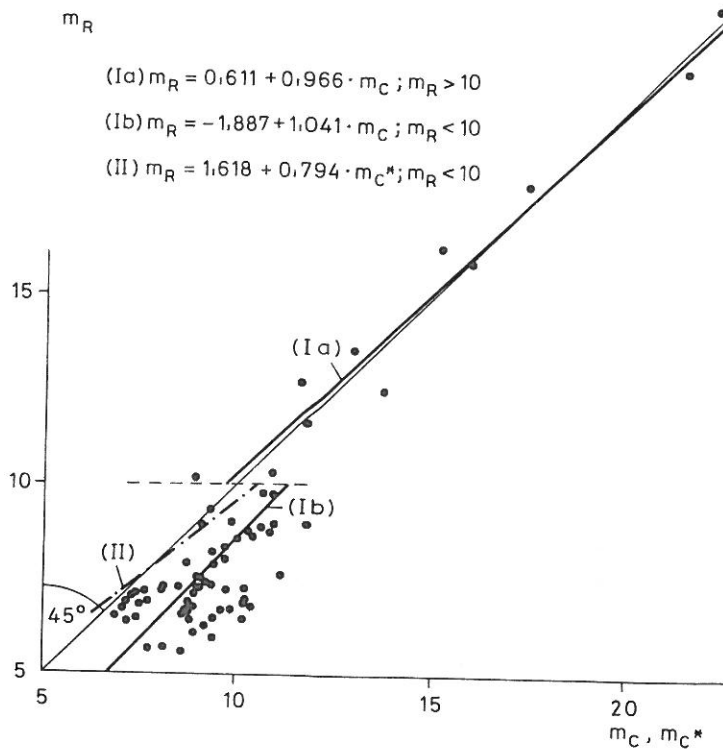
$$(n = 71; r^2 = 0,826; s_R = 1,392).$$

Az $m_R > 10$ értéktartományban az egyezés közel tökéletes. Az $m_R < 10$ tartományban m_B értékei mintegy 0,5—1,0 egységgel kisebbek az m_R értékeknél, azonban ezek a különbségek kizárólag egy trendre mutatnak, amely a viszonylag nagy maradékszórás miatt matematikailag nem bizonyított.

Az m megközelítő megállapítására egy további eljárást CAMPBELL (1974) ismertetett. Ennek használhatósága homokok K értékének kiszámítására beigazolódtott (VETTERLEIN, NEUMANN és BOHNE, 1984). Ez az eljárás KOZENY (1927) elméletén alapszik, amely szerint egyszerű lineáris összefüggés van a szívóerő-telítettség függvény egyenesének dőlése $b = \Delta \lg(\sigma_a/\sigma) / \Delta \lg T$, és $m = \Delta \lg K / \Delta \lg T$ között, amit CAMPBELL az

$$m_C = 3 + 2b \quad (10)$$

egyenlettel fejez ki. Az ismertett talajkeverékekre a b -értékek a $\sigma_a < \sigma < 1,5$ MPa, és a $\sigma_a < \sigma < 0,1$ MPa tartományokban mért $\lg \sigma_i$; $\lg T_i$ értékpárok alapján lettek meghatározva.



5. ábra

A regresszióval meghatározott (m_R) és a CAMPBELL szerint számított (m_C) iránytangensek összehasonlítása. m_R : $\lg K = m_R \cdot \lg T + \lg K_0$ lineáris regressziók alapján. m_C : CAMPBELL szerint, az $\sigma_a < \sigma < 1,5$ MPa tartományban; m_C^* : CAMPBELL szerint, az $\sigma_a < \sigma < 0,1$ MPa tartományban

Az $m_R > 10$ tartományban CAMPBELL eljárása is az m_C értékek teljes egyezését mutatja a kísérleti úton meghatározott m_R értékekkel. Ez kitűnik az erre a tartományra külön kiszámított regressziós egyenletből:

$$m_{R(I)} = 0,611 + 0,966 m_{C(I)} \quad (11)$$

($n = 12$; $r^2 = 0,966$; $s_R = 0,522$).

Az $m_R < 10$ tartományban az m_R (m_C) kapcsolat vonatkozásában jelentős eltolódás állapítható meg. Ezért erre a tartományra is külön kiszámítottuk a regressziós egyenletet:

$$m_{R(II)} = -1,887 + 1,041 m_{C(II)} \quad (12)$$

($n = 61$; $r^2 = 0,751$; $s_R = 1,23$).

A (12) egyenletből kitűnik, hogy az $m_R < 10$ tartományban az m_C értékek a kísérleti úton meghatározott m_R értékeknél mintegy 1,3—1,7-szer nagyobbak. Ezek a különbségek azonban eltűnnek, ha a CAMPBELL eljárása szerint megkívánt $b = \Delta \lg(\sigma_a/\sigma)/\Delta \lg T$ döléseket a mért adatokból a $\sigma_a < \sigma < 0,1$ MPa tartományban számítjuk ki. Az így meghatározott m_C értékek, amint az a 5. ábrából és a (13) egyenletből kitűnik, a kísérleti úton meghatározott m_R értékekkel közel azonosak:

$$m_R = 1,618 + 0,794 m_{C^*} \quad (13)$$

($n = 59$; $r^2 = 0,70$; $s_R = 0,82$).

Az eredmények megvitatása

A közölt eredmények a szemcseeloszlásnak a hidraulikus vezetőképességre gyakorolt befolyásának mennyiségi becslésére alkalmasak. Ezt azáltal értük el, hogy a mesterségesen előállított talajkeverékekből a talajszerkezet és a humusztartalom befolyását kizártuk. A természetes szerkezetű talajokban ez a két tényező a hidraulikus vezetőképességet a tapasztalat szerint éppen úgy módosítja, mint a szívóerő-telítési hiszterézis a $K(\Theta)$ — vagy a $K(T)$ — összefüggésekben, de lényegesen kevésbé befolyásolja, mint a $K(\sigma)$ kapcsolatban.

Az (1) egyenlet szerinti viszonylag szoros korreláció a hidraulikus vezetőképesség és a növények számára felvehető víz térf.-%-ban kifejezett mennyisége között azt bizonyítja, hogy a nagy hasznos szabadföldi vízkapacitású talajok, mint pl. a lösz, vagy a vályogos homoktalajok, elvileg egyúttal a könnyen felvehető víz áramlása számára is a legelőnyösebb feltételeket biztosítják.

Említésre méltó a $\lg K = f(\lg \Theta)$, illetve a $\lg K = f(\lg T)$ lineáris regressziók kísérleti úton meghatározott m_R értékeinek jó egyezése a BLOEMEN (1980), vagy a CAMPBELL (1974) szerint számítottakkal.

CAMPBELL módszere szerint a regressziós egyenesek dölésének [$b = \Delta \lg(\sigma_a/\sigma)/\Delta \lg T$] meghatározásánál a pontosság az erre a célra szolgáló $\lg \sigma_i$; $\lg T_i$ értékpárok tartományától függ. A vályogos és az agyagos alapanyagok számára a hervadásponthoz ($\sigma = 1,5$ MPa) terjedő adatpárok a legalkalmasabbak. Homokok és

vályogos homokok esetében a $\sigma_a < \sigma < 0,1$ MPa tartományra korlátozott adatok adják a legjobb egyezést a mért m_R értékekkel.

A $\lg K = f(\lg T)$ regressziókból extrapolált K_o értékek (teljes telítéskor) eltérései a mért k_f értékektől jellemzik a KOZENY modelljére alapozott eljárás problémáját, amely a $\lg K(\lg \Theta)$ — vagy a $\lg K(\lg T)$ — összefüggést a k_f érték pontkoordinátáiból és más összefüggésekből megállapított m értékek alapján határozza meg. Mivel a $\lg K_o$ — $\lg k_f$ különbségek egy 10-es alapú hatvány nagyságrendjét is elérhetik, konstans m értékek esetén ugyanakkora hibák jönnek létre a $\lg K$ meghatározásakor a telítetlen talaj különböző nedvességtartalmainak egész tartományában. Ez volt az oka annak, hogy már korábban olyan számítási eljárást javasoltunk a $\lg K(\lg \Theta)$ összefüggések megállapítására, amely ezen összefüggések regresszióinak, vagy fix pontjainak kiszámításakor az említett hibákat kiküszöböli (VETTERLEIN, 1979, 1983).

Összefoglalás

Különböző szemcseösszetételű talajkeverékekkel végzett méréseink eredményei alapján a hidraulikus vezetőképesség, a nedvességtartalom és a szemcseeloszlás jellemzői közötti összefüggéseket ismertettünk.

Nagyon szoros lineáris regressziós kapcsolat van a hidraulikus vezetőképesség logaritmusa és a talaj nedvességtartalmának logaritmusa között. A regressziós egyenesek meredeksége és a regressziós állandók a talajkeverékek finom részével (a 6 μm -nél kisebb részecskék), vagy azok agyagtartalmával vannak szoros kapcsolatban. Ezenkívül, ha a finom részecskék mennyisége meghaladja a 10%-ot, szoros összefüggés állapítható meg a hidraulikus vezetőképesség és a növények részére felvehető víz mennyisége között is. A CAMPBELL és BLOEMEN szerinti számítási módokat összehasonlítjuk saját eredményeinkkel.

Irodalom

- BLOEMEN, G. W., 1980. Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content. *Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd., Weinheim.* **143**, 581—605.
- CAMPBELL, G. S., 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.* **117**, 311—314.
- KOZENY, J., 1927. Über kapillare Leitung des Wassers im Boden (Aufstieg, Versickerung und Anwendung auf die Bewässerung). *Sitzungsberichte Akad. Wiss. Wien.* **136**, 271—306.
- VETTERLEIN, E., 1968. Zur Anwendung der Doppel-Membran- und Doppel-Platten-Methoden für Messungen der kapillaren Leitfähigkeit von Bodenproben. *Albrecht-Thaer-Archiv. Berlin.* **12**, 983—994.
- VETTERLEIN, E., 1979. Ergebnisse von Messungen sowie Verfahren zur Berechnung der hydraulischen Leitfähigkeit in Sandböden. *Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* **23**, (10) 593—600.
- VETTERLEIN, E. 1983. Beziehungen zwischen hydraulischer Leitfähigkeit und Bodenwassergehalt in Sandlehm-, Lehm- und Tonsubstraten. *Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* **27**, (7) 417—426.

VETTERLEIN, E., NEUMANN, L. & BOHNE, K., 1984. Vergleich verschiedener Methoden zur Ermittlung der hydraulischen Leitfähigkeit in ungesättigten Sandsubstraten. Acta Hydrophysika. 4.

Érkezett: 1984. október 1.

Relations Between Hydraulic Conductivities, Water Content and Grain Size Distribution

E. VETTERLEIN

Dept. of Soil Science and Remote Sensing, Müncheberg Research Center for Soil Fertility of the Academy of Agricultural Sciences of the GDR, Eberswalde

Summary

Relations between hydraulic conductivity values measured on different soil mixtures in a wide range of grain size distribution, water content and certain parameters of grain size distribution are described. Significant linear regressions exist between values of hydraulic conductivity and water content on logarithmic scales, the slopes and absolute terms of which are closely correlated with the fine grain content (particles $< 6 \mu\text{m}$) or with the clay content. If the fine grain content exceeds 10%, then there also exist significant correlations between hydraulic conductivities and the content of plant-available water. The experimental results are discussed and compared with values calculated according to the methods of CAMPBELL and BLOEMEN.

Table 1. Some relevant physical characteristics of the experimental material. (1) Experimental material: a) medium fine sand; b) fine sand; c) loam; d) clay; e) loess. (2) Particle-size fractions, % (particle size in μm). (3) BLOEMEN's grain size distribution index f (1980). (4) Bulk density, g/ml.

Table 2. The water content (Θ) and water conductivity of soil mixtures measured at various suction levels. (1) Suction, m. kH: medium fine sand; fH: fine sand; V: loam; A: clay; L: loess.

Table 3. Mean values of the correlation coefficients (r^2) and the residual sums of square (\bar{s}_R) of the $\lg K = f(\lg \Theta)$ linear regressions. (1) Experimental material: a) loam; b) clay; c) loess; d) mean. For abbreviations see Table 2.

Table 4. Mean values of the correlation coefficients (r^2) and the residual sums of square (\bar{s}_R) of the $[\lg K = f(\lg \Theta)]$ linear regression of soil mixtures the fine part of which exceeds 10%. For (1) and abbreviations see Table 3.

Table 5. Parameters of linear regressions with m_R as dependent variable and various independent variables. (1) Experimental material: a) sand; b) sand with loam; c) sand with loam and clay; d) sand with loess. (2) Serial number.

Fig. 1. The soil's capillary conductivity as a function of the moisture content in the case of a sand—loam mixture series. 1. $\lg \Theta_{-2}$ line. 2. Hydraulic conductivity values of fully saturated soils. 3. Sand. 4. Loam.

Fig. 2. Correlations between the logarithms of soil moisture content (Θ volume %), water saturation (T) and the soil's fine particle fraction ($F\%$), at $K = 10^{-2}$ mm/day hydraulic conductivity.

Fig. 3. The measured (K_T) and calculated (K_o) hydraulic conductivities of soils. Horizontal axis: $\lg K_o$ on the basis of the $\lg K = f(\lg T)$ regressions, $\lg T = 0$. Vertical axis: $\lg K_T$ on the basis of measured values. a) medium fine sand (kH) — loess, loam, clay mixtures; b) fine sand (fH) — loess, loam, clay mixtures.

Fig. 4. Comparison of slopes determined by regression (m_R) and calculated according to BLOEMEN (m_B). m_R : on the basis of linear regressions $\lg K = m_R \cdot \lg T + \lg K_o$. m_B (according to BLOEMEN): $m_B = 3 + 0.926 (e^{0.3f} - 1)^{-1}$ calculated from BLOEMEN's grain size distribution index f (1980).

Fig. 5. Comparison of slopes determined by regression (m_R) and calculated according to CAMPBELL (m_C). m_R : on the basis of linear regressions $\lg K = m_R \cdot \lg T + \lg K_o$. m_C (according to CAMPBELL): in the $\sigma_a < \sigma < 1.5$ MPa range; m_{C^*} (according to CAMPBELL): in the $\sigma_a < \sigma < 0.1$ MPa range.

Связь между гидравлической водопродностью, влажностью почв и составом их механических фракций

Е. ВЕТТЕРЛЕЙН

Мюнхенский научно-исследовательский центр плодородия почв, Отделение почвоведения и дистанционного зондирования, Академии Сельскохозяйственных Наук ГДР, Эберсвалде, ГДР

Резюме

На основе результатов измерений, проведенных в почвах различного механического состава, показаны связи между гидравлической водопродностью, влажностью почвы и составом механических фракций.

Установлена тесная прямая регрессионная зависимость между логарифмом гидравлической водопродности и логарифмом почвенной влажности. Крутизна регрессионных кривых и постоянные регрессии находятся в тесной зависимости с содержанием тонких механических частиц (частицы размером менее 6 μm) или с содержанием глины. Кроме того, если количество тонких частиц превышает 10%-ов, существует прочная зависимость между гидравлической водопродностью и содержанием влаги доступной для растений. Полученные результаты сравнили с методами расчёта по КАМПБЕЛЮ и БЛЁМЕНУ.

Табл. 1. Некоторые физические показатели основных материалов. (1) Основной материал: а) средний песок; б) тонкий песок; в) суглинок; г) глина; д) лёсс. (2) Механический состав, %, диаметр частиц в μm . (3) Индекс f по БЛЁМЕНУ. (4) Объемная масса, г/мл.

Табл. 2. Влажность почв различного механического состава, измеренная при различных сосущих силах (Θ) и водопродность. (1) Сосущая сила, м. кН: средний песок; fH: тонкий песок; V: суглинок; A: глина; L: лёсс.

Табл. 3. Средние величины коэффициентов детерминации (r^2) и остаточного рассеивания (\bar{s}_R) прямых регрессий $\lg K = f(\lg \Theta)$. (1) Основной материал: а) суглинок; б) глина; в) лёсс; г) средняя величина. Сокращения смотри в таблице 2.

Табл. 4. Средние величины коэффициентов детерминации (r^2) и остаточного рассеивания (\bar{s}_R) прямой регрессии $[\lg K = f(\lg \Theta)]$ смеси почвы, содержащей более 10% тонких фракций. Обозначения смотри в таблице 3.

Табл. 5. Параметры различных независимых переменных прямых регрессий и m_R . (1) Материал: а) песок; б) песок с суглинком; с) песок с суглинком и глиной; д) песок с лёссом. (2) Порядковый номер.

Рис. 1. Капиллярная водопроводность почвы в зависимости от ее влажности в серии смесей песок—суглинок. 1. Линия $\lg \Theta_{-2}$. 2. Величины гидравлической водопроводности при полном насыщении водой всего порового пространства. 3. Песок. 4. Суглинок.

Рис. 2. Зависимость между логарифмами влажности почвы (Θ объем. %), насыщенности почвы водой (T) и содержания в почве тонких фракций ($F\%$), при гидравлической водопроводности $K = 10^{-2}$ мм/день.

Рис. 3. Измеренная (K_T) и рассчитанная (K_o) гидравлические водопроводности почв. По горизонтальной оси: $\lg K_o$ на основе регрессий $\lg K = f(\lg T)$, $\lg T = 0$. По вертикальной оси: $\lg K_T$ на основе измеренных величин. а) смеси средний песок (кН) — лёсс, суглинок, глина; б) смеси тонкий песок (fH) — лёсс, суглинок, глина.

Рис. 4. Сравнение угловых коэффициентов, определенных с помощью регрессии (m_R) и рассчитанных по БЛЕМЕНУ (m_B). m_R : на основании прямых регрессий: $\lg K = m_R \cdot \lg T + \lg K_o$, m_B : при расчете по БЛЕМЕНУ (1980) из индекса f , распределения почвенных частиц по размерам: $m_B = 3 + 0,926 (e^{0,3f} - 1)^{-1}$.

Рис. 5. Сравнение угловых коэффициентов, определенных с помощью регрессии (m_R) и рассчитанных по КАМПБЕЛЛЮ (m_C). m_R : на основе прямых регрессий: $\lg K = m_R \cdot \lg T + \lg K_o$, m_C : при расчете по КАМПБЕЛЛЮ, в области $\sigma_a < \sigma < 1,5$ МПа m_C : при расчете по КАМПБЕЛЛЮ в области $\sigma_a < \sigma < 0,1$ МПа.