

A talaj nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban

VÁRALLYAY GYÖRGY

*Magyar Tudományos Akadémia Talajtani
és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest*

A talaj termékenységének egyik legfontosabb tényezője a talaj vízgazdálkodása. A talajban lévő víz mennyisége, állapota és mozgása nemcsak a talajon élő növényzet vízellátását, vízfelvételét szabja meg, hanem — gyakran döntő mértékben — befolyásolja a mállást, talajképződést, a talajban végbemenő anyagforgalmi, anyagmozgási, anyagátalakulási folyamatokat is. A talaj vízgazdálkodását a talajtulajdonságokon túlmenően számos környezeti tényező (elsősorban a meteorológiai, hidrológiai és domborzati viszonyok) befolyásolja, de igen jelentős hatást gyakorolhat arra az ember tevékenysége s (vízrendezés, öntözés, melioráció, agrotechnika stb.). Az optimális mezőgazdasági vízgazdálkodás alapvető célja éppen az, hogy mesterséges beavatkozásokkal úgy alakítsa a talaj vízgazdálkodását, hogy az a természetett növények talajökológiai igényeit (víz-, levegő- és tápanyagigényét) minél inkább kielégítse. E mesterséges beavatkozások szükségességének elbírálásához, rendszerének kialakításához nélkülözhetetlen a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak, azok tér- és időbeli dinamizmusának, befolyásolási lehetőségeinek ismerete. A talaj vízgazdálkodását alapvetően a talaj nedvességtartalma, a talajnedvesség potenciálja, a víz vertikális és horizontális mozgása — a talaj vízzel telített és nem telített rétegeiben — jellemzi.

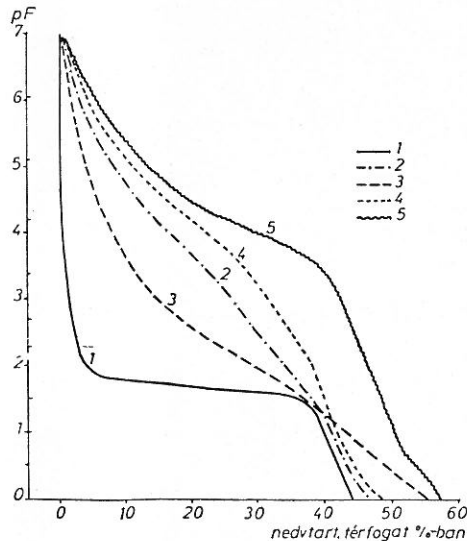
A talajnedvesség potenciálja

A talajban lévő víz növények általi felvehetőségét, mozgásának törvényszerűségeit egyaránt az határozza meg, hogy annak milyen hányada milyen erők hatása alatt áll és milyen mértékben kötődik a talaj szilárd fázisát alkotó szemcsékhez vagy szemcsehalmazokhoz. A talajban lévő vízre alapvetően három erő hat: a gravitációs erő, a kapillaris erő és a különböző adszorpciós erők. Ezen erők érvényesülését azok kötési energiája, hatástávolsága és hatásmechanizmusa szabja meg, tehát döntő mértékben a talajszemcsék és pórusok méretétől, illetve méret szerinti megoszlásától függ.

A talajnedvesség állapotának értelmezésére két alapvető tudományos irányzat alakult ki. Az ún. „kapillaris-cső elmélet” (BRIGGS, 1897: in [1]) szerint a víz a talajrészecskékhez tapadó film formájában fordul elő a tausbán, a talaj víztartó-képessége a pórusokban előforduló kapillaris vízfelszínnek görbületéből (meniszkusz) adódó energiának a következménye, a víz mozgása

pedig vékonyabb-vastagabb filmek formájában megy végbe, következésképpen azt e filmek görbülete, felületi tenziója és a folyadék viszkozitása befolyásolja elsősorban [1].

A talajnedvesség energiaállapotának, termodinamikájának összefüggéseit kifejező *nedvességpotenciál-elmélet* alapjait Buckingham [in 1, in 10] rakta le 1907-ben a hőmozgás és elektromos áram analógiájára. GARDNER [3, in 1, 6] definíciója szerint a talajnedvesség potenciálja az a munka, amely egységnyi tömegű víz egységnyi tömegű talajból történő eltávolításához, illetve egy vonatkoztatási (zéró potenciálú) ponttól egységnyi távolságra történő elmozdításához szükséges. A talajnedvesség összpotenciálja (Φ) több tényezőtől tevődik össze, amelyek közül a nehézségi erő hatását kifejező gravitációs potenciál (ψ_G), a különböző levegő–víz határfelületek között adódó hidrosztatikus nyomáskülönbséget kifejező nyomáspotenciál (ψ_P), az oldható sók és disszociáló adszorbeált ionok hatását kifejező ozmózis potenciál (ψ_o), valamint a dipol-karakterű vízmolekulák felületi erők által a szilárd részecskékhez való kötődését kifejező adhéziós potenciál (ψ_A) a legfontosabbak [1]. E tényezők hatásának különválasztása meglehetősen nehéz, ezért gyakorlati szempontból célszerű a talajnedvességre ható erőket az alábbi három csoportra osztani: gravitációs erő, a talaj szilárd fázisának hatását kifejező kapilláris (matric) erők, illetve a folyadékfázis oldott anyagainak hatását kifejező ozmózis erők, amelyek algebrai összege természetesen szintén a talajnedvesség összpotenciálját (Φ) adja [3, 6]. Mivel a gravitáció hatása a



1. ábra

Néhány magyarországi talaj pF-görbéje. 1. Durva homok, 2. Mészlepedékes csernozjom vályog mechanikai összetételű 0–25 cm rétege (Mezőföldi löszhát—Érd), 3. Mészlepedékes csernozjom homokos lösz talajképző kőzete (Mezőföldi löszhát—Érd), 4. Réti csernozjom agyagos vályog mechanikai összetételű 0–20 cm rétege (Szolnoki löszhát—Törökszentmiklós), 5. Kérges réti szolonyec vályogos agyag mechanikai összetételű B₁-szintje, 3–15 cm (Hortobágy—Püspökladány).

talajtulajdonságoktól független, kis talajoldat koncentrációjú talajokban (ahol a ψ_0 elhanyagolható) a talajnedvesség potenciálja jól jellemezhető az ún. „matrix-potenciállal” (ψ). Ez a kapilláris erők, adszorpciós erők és részben az ozmózis erők (kicszerűsíthető kationok hatása) hatását egyaránt magában foglalja és azok algebrai összegét fejezi ki. A matrix-potenciál (ψ) ilyen esetben az a munka, amely egységnyi tömegű víz egységnyi talajból történő eltávolításához, illetve egy vonatkoztatási ponttól egységnyi távolságra történő elmozdításához szükséges. E munka mértéke kifejezhető az annak elvégzéséhez szükséges nyomás (illetve szívóerő) mértékével és vízoszlop cm-ben, bar-ban vagy atmoszférában fejezhető ki. A matrix-potenciál mértékének kifejezésére SCHOFIELD [21] 1935-ben bevezette a pF-fogalmát, ami a nedvességpotenciál vízoszlop cm-ben kifejezett értékének a logaritmus. Ha a nedvességtartalmat a szívóerő függvényében ábrázoljuk, olyan görbe szerkeszthető, amely szemléletesen tükrözi a különböző erőkkel kötött nedvességformák mennyiségét a talajban. Méréseink alapján néhány magyarországi talaj pF-görbéit mutatjuk be az 1. ábrán.

A pF-görbék igen sokoldalúan alkalmazhatók [6, 23, 28]:

- a talajnedvesség energiaállapotának jellemzésére [1, 5, 6],
- a talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak általános jellemzésére, a talaj ilyen szempontból történő osztályozására, minősítésére [1, 3],
- a talaj jellemző vízgazdálkodási paramétereinek meghatározására [1, 6, 13, 16]: teljes vízkapacitás = pF 0; minimális vízkapacitás = pF 2; szabadföldi vízkapacitás = pF 2,3–2,7; holtvíztartalom = pF 4,2; higroszkóposág = pF 6,1; hasznosítható vízkészlet = (pF 2,3–2,7) – (pF 4,2),
- a homogén szemcsőösszetételű talajok porozitásviszonyainak, ekvivalens porúsátmérőjének jellemzésére [10, 23],
- a talaj szerkezetében, fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságaiban természeti okok vagy mesterséges beavatkozások hatására bekövetkező változások nyomon követésére,
- az öntözési gyakorlatban: az öntözés időpontjának, gyakoriságának, az egy alkalommal kiadagolható víz mennyiségének megállapításánál, a helyszíni tenzióméteres nedvességmérések adatainak értékeléséhez, perspektívikusan az öntözés automatizálásához stb. [6, 20, 28],
- a drenázstervezési gyakorlatban: drenázrendszerek szükségességének elbírálásához, típusának megállapításához, méretezéséhez stb. [6, 10],
- további vízgazdálkodási paraméterek (víznyelő-képesség, hidraulikus és kapilláris vezetőképesség, stb.) adatainak számításához, értékeléséhez [3, 4, 5, 29].

A talaj nedvességpotenciáljának meghatározása

A talajnedvesség összpotenciáljának meghatározására igen különböző módszerek alkalmazhatók, így a páryomás mérésének módszere, a fagyáspont csökkenésének meghatározása, dilatométeres eljárások, centrifugálás stb. [1, 5, 6, 13, 16].

Ezek közül elsősorban a páryomás mérésének módszere terjedt el a talajtani gyakorlatban. Tulajdonképpen ide sorolható a talaj higroszkóposá-

gának meghatározása is ($h_y = pF$ 6,1. $H_y = pF$ 4,7), az utóbbi időben azonban a mérés technika fejlődésével (száraz-nedves termopáros psychrométerek stb.), sőt automatizálásával a mérési intervallum kiterjedt (pF 3–7), a meghatározás pontosabbá vált, sorozatvizsgálatokra alkalmas eljárások is kidolgozást nyertek [5, 13, 24].

Gyakorlati szempontból többnyire elegendő a matric-potenciál meghatározása. Az ezt kifejező pF -görbék megszerkesztése a talaj nedvességtartalmának és a talajnedvesség szívóerejének (tenziójának) egyidejű meghatározása alapján történik. Erre két lehetőség adódik:

1. Tenzióméteres mérések. Ilyen esetben meghatározott nedvességtartalmú talaj tenzióját határozzuk meg. E módszer elsősorban szabadföldi mérésekre alkalmas és a pF 0–2,7 tenziótartományban tesz lehetővé meghatározásokat [1, 6, 9, 13, 16].

2. Porózus közeget alkalmazó berendezésekkel történő laboratóriumi mérések.

Ez utóbbi esetben az előzetesen vízzel telített talajt egy olyan porózus lapra helyezzük, amely az adott nyomáskülönbségnél átteresztí a vizet, de nem eresztí át a levegőt, majd meghatározott szívóerővel vagy nyomással eltávolítjuk a felesleges nedvességet és az egyensúly beállása után meghatározzuk a talaj nedvességtartalmát. A meghatározásra a szakirodalomban igen sok módszer található [2, 5, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 25, 26, 27]. Az 1 atmoszféra (1 atm. ≈ 760 Hg mm = $1035 \approx 10^3$ vízoszlop cm $\approx pF$ 3) alatti tenziótartományban szívóerő vagy nyomás egyaránt alkalmazható, elvileg azok között különbség nincs, hisz a talajnedvességre a porózus lap felett és alatt érvényesülő erők különbsége hat. Technikai szempontok döntik el tehát, hogy szívás vagy nyomás alkalmazását részesítjük előnyben. Véleményünk szerint — elsősorban az alacsony (pF 0–2) tenziótartományban — a szívás alkalmazása látszik előnyösebbnek, kismértékű vákuum pontos beállítása és stabilizálása ugyanis lényegesen egyszerűbb, mint a nyomásé. A pF 3,0-hoz közeli tenziótartományban viszont már a nagy vákuum biztosítása jelent technikai nehézségeket, míg pF 3,0 felett természetesen már csak nyomás alkalmazható.

Lényegesen nehezebb problémát jelent a megfelelő porózus közeg megválasztása, mivel annak egymással ellentétes két követelményt kell kielégítenie: az adott nyomáskülönbség mellett nem eresztí át levegőt, viszont minél nagyobb vízáteresztőképességgel kell rendelkeznie. Ebből két dolog következik. Egyrészt az, hogy az alkalmazott porózus közegnek minél homogénebb szemcseösszetétele kívánatos, másrészt az, hogy ugyanazon porózus anyag nem alkalmazható a teljes pF -tartományban. Heterogén szemcse, így pórusméret-megoszlás esetén a levegőáteresztési küszöbértéket ($\psi_a =$ az a nyomáskülönbség — vízoszlop cm-ben kifejezve —, amelynél az első levegőbuborék áthatol a porózus anyagon) az előforduló legnagyobb pórusok mérete szabja meg, ami a felhasználhatóság tenzió-intervallumát igen lecsökkenti. A durvább szemcséjű, jó vízáteresztő képességű porózus anyagok nagyobb nyomáskülönbségnél átteresztik a levegőt, a finomabb szemcséjű porózus anyagok vízáteresztőképessége viszont kis nyomáskülönbség esetén igen csekély és ez az egyensúly beálltanak idejét nagyon meghosszabbítja. Néhány porózus anyag felhasználhatóságának tenzió-intervallumát az alábbiakban közöljük [10, 16, 23, 25]:

porózus anyag	maximális tenzió (vízoszlop cm)	maximális pF
szűrőpapír	40— 60	1,5—1,8
azbeszt	100— 200	2,0—2,3
kerámia	400— 500	2,6—2,7
színterelt üveg	1 000— 3 000	3,0—3,5
mázatlan porcellán	1 000— 2 500	3,0—3,4
cellulóz szűrő	3 000— 10 000	3,5—4,0
bél, cellofán	100 000—150 000	5,0—5,2

Az atmoszféra feletti tenziótartományban (pF 3–5) világszerte az ún. nyomásmembrános készülékeket alkalmazzák [5, 6, 13, 16, 23] — cellofán membránnal. Ebben a tenziótartományban a mérést nem szükséges bolygatlan szerkezetű talajmintákon végezni (hisz a talajszerkezet okozta durvább pórusok itt már kiürültek, így azok mennyiségének gyakorlatilag nincs jelentősége), a meghatározáshoz kisméretű, vékony talajminták használhatók. Következésképpen 1–1 készülékbe sok minta behelyezhető (általában 12–20 db), az egyensúlyi állapot eléréséhez szükséges idő viszonylag rövid (csak ritkán hosszabb egy hétnél), tehát a módszer tömegvizsgálatokra kitűnően alkalmas.

Az atmoszféra alatti tenziótartományban történő pF-mérésekre vonatkozóan a szakirodalomban igen sok módszer található. E módszerek egyrészt különböző vákuum —, illetve nyomásstabilizáló berendezéseket ismertetnek [5, 13, 16, 25], másrészt különböző porózus anyagok ilyen irányú felhasználásának tapasztalatairól számolnak be [4, 5, 13, 16, 19, 23]. Így LEAMER és SHOW [11] szűrőpapírt, JAMISON és REED keményített azbesztlapot [8], TANNER BOURGET és HOLMES [26] alundum (Al_2O_3) szűrőlapot, SOERIO [22], NIELSEN és PHILLIPS [14] színterelt üveggyapotot, RICHARDS [15, 16, 17], RICHARDS és FIREMAN [18], TANNER és ELRICK [27], CZERATZKI [2], GLOBUSZ [5] és mások [13] mázmentes kerámialapokat alkalmaztak berendezéseikben. Különösen a kerámialapok és üvegszűrő téglék felhasználása vált általánosan elterjedté világszerte a 0–3,0–3,2 pF-tartományban. A szilárd kerámialapok alkalmazása kétségtelen előnyei (állandó pórusméret, könnyű kezelhetőség) mellett metodikai nehézségekkel is jár: a lapok könnyen törnek, eltomódnak, nem mindig megfelelő a kontaktus a talajminta és a lap között stb. E tényezők kiküszöbölésére JAMISON [7] már 1958-ban homok és iszaposzlopok alkalmazását javasolta, STAKMAN és VAN DER HARST [25] pedig ún. homok és kaolin boxokat szerkesztett a pF 0–2,0, illetve 2,0–2,7 tenziótartományban történő nedvességpotenciál meghatározásokhoz, amelyek azóta eléggé elterjedtek a nyugat-európai gyakorlatban. E berendezések előnye, hogy tömegvizsgálatokra kitűnően alkalmasak, szűrőlapként alkalmazott homok, illetve kaolin töltetanyaguk a kívánt szemcseméretnek megfelelő minőségben könnyen előállítható (szítálás, ülepítés, porítás stb.), sérülés vagy eltömődés esetén a box újratölthető, igen jó a kontaktus a vizsgálandó minta és a szívólap között. A berendezések hátránya viszont, hogy a szívótérbe jutó levegőbuborékok nem észlelhetők, a berendezés szétbontása nélkül nem távolíthatók el, a berendezés töltése pedig körülményes és hosszadalmas.

Kis számú egyedi méréstől eltekintve hazánkban eddig sajnos alig végeztek vizsgálatokat a talajnedvesség potenciáljának, energiaállapotának jellemzésére. Ezen a területen elsősorban KAZÓ [9] tenzióméteres mérései érdemel-

1. táblázat

Vizsgálati rendszerünk a talaj nedvességpotenciáljának meghatározására a teljes pF-tartományban

(1) Vízszlop cm-ben kifejezett szívóerő	pF	(2) Porózus lap anyaga	(3) Meghatározásra felhasznált módszer, berendezés	(4) Vízgazdálkodási paraméter
1	0	—	Teljes telítés vízzel	Teljes vízkapacitás
2,5	0,4	—	Minta alsó éle merül vízbe	
10	1,0	Durva homok	Homok- lapos berendezés	Minimális vízkapa- citás
31,5	1,5	Finom homok		
100	2,0	Finom homok		
200	2,3	Kaolin	Kaolinlapos berendezés	Szabadföldi víz- kapacitás
501	2,7	Kaolin		
2 500	3,4	Cellofán	Nyomásmembrános készülék	Holtvíztartalom Higroszkóposság (hy ₁)
15 000	4,2	Cellofán		
—	6,1	—		

nek említést, amelyek alapján összefüggéseket állapított meg az egyszerű talajfizikai paraméterek, valamint a talaj pF-értékei között — a tenzióméterek méréstartományában. Azonban eddig nem történtek mérések és nem álltak rendelkezésre adatok magyarországi talajok nedvességpotenciáljára, pF-görbéire vonatkozóan a teljes tenziótartományban. A hazai talajfizikai gyakorlat a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak jellemzésére inkább más módszereket alkalmazott, s — elsősorban KLIMES SZMIK [4, 10] és munkatársai nyomán — a porozitásviszonyok oldaláról közelítette meg a talajban különböző erővel kötött vízformák kvalitatív és kvantitatív jellemzését. LESZTÁKNÉ [12] a hazai szikes talajok nedvességállapotának jellemzésére ugyancsak az ún. „differenciális porozitás” módszerét alkalmazta. E módszerek hátránya azonban a nagy munkaigényesség. Emiatt sorozatvizsgálatokra kevésbé alkalmasak és nem is terjedtek el a talajvizsgálati és talajminősítési gyakorlatban. A gyakorlat viszont egyre inkább igényli az ilyenirányú adatokat, hisz a korszerű mezőgazdasági üzemi vízgazdálkodáshoz, az intenzív, öntözéssel mezőgazdaság irányításához, az öntözés jövőbeni fokozatos automatizálásához a jól mérhető és szabatosan interpretálható vízgazdálkodási paraméterek, illetve az azokra vonatkozó számszerű adatok nélkülözhetetlenek.

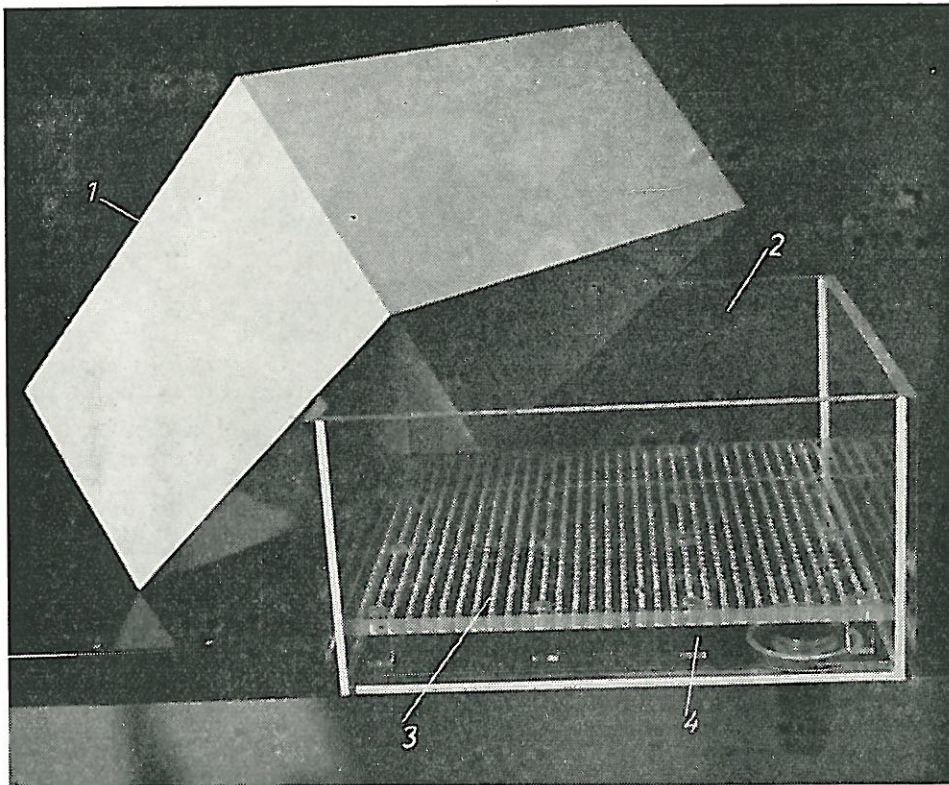
Ezen igények kielégítéséhez — a szabadföldi tenzióméteres mérésekkel párhuzamosan — jó kiinduló pontot jelenthet hazai talajaink pF-görbéinek felvétele a teljes tenziótartományban, amelynek mérésére kialakított vizsgálati rendszerünket az 1. táblázatban foglaljuk össze.

Az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban 5 cm hosszú és 100 cm³ térfogatú rézhengerekbe helyezett bolygatott vagy bolygatatlan szerkezetű mintákon, az atmoszféra feletti tenziótartományban 1 cm magas, 3 cm átmérőjű műanyag gyűrűkbe helyezett bolygatott szerkezetű mintákon végeztük a méréseket. Tapasztalataink szerint az egyensúlyi állapot eléréséhez

a talajok mechanikai összetételétől függően az alábbi időtartamok szükségese-
gek:

	atmoszféra alatti tenziótartomány	atmoszféra feletti tenziótartomány
homok	2— 3 nap	2—3 nap
vályog	5— 6 nap	3—4 nap
agyag	8—10 nap	4—5 nap
szikes agyag	10—15 nap	6—8 nap

Mivel az atmoszféra alatti tenziótartományban az egyes pF-értékek meghatározására a vizsgálati hiba és szórás csökkentése céljából célszerű ugyanazt a bolygatatlan szerkezetű mintát használni, a 7 mérési pont meghatározása könnyű mechanikai összetételű talajoknál 2—3 hetet, közepes mechanikai összetételű talajoknál 5—6 hetet, nehéz mechanikai összetételű talajoknál 8—9 hetet, nagy Na^+ -telítettség esetén 10—12 hetet vesz igénybe. Tömegvizsgálatok szempontjából különösen fontosak tehát olyan berendezések, amelyek igen nagyszámú minta egyidejű vizsgálatára alkalmasak, s így azok



2. ábra

A talaj nedvességpotenciáljának a pF 0—2,7 tenziótartományban történő meghatározására szolgáló berendezés plexi váza. (1) Átlátszatlan PVC fedél emelőfüllel, (2) Átlátszó plexi kád, (3) Átlátszó plexiből készült perforált tartólap, (4) Tartólap lábazata.

folyamatos üzeme esetén — egy-egy minta aránylag hosszú vizsgálati időtartama ellenére — nagyszámú mérés végezhető. A pF 0, és 0,4, illetve 6,1 meghatározásának ilyen szempontból nincsenek korlátai, hisz a telítés bármilyen edényben, illetve exikátorban elvégezhető. Viszonylag gyors a pF 3,5 és 4,2 meghatározása is, mivel itt külön-külön mintákból végezzük a méréseket, rövidebb az egyensúlyi állapot eléréséhez szükséges idő és a nyomás-membrános készülékek 15–16 minta egyidejű vizsgálatára nyújtanak lehetőséget. A szűk keresztmetszet tehát a pF 1,0–2,7 tartományban jelentkezik.

Jelen közleményünkben ismertetett munkánkkal fentieknek megfelelően az volt a célunk, hogy a STAKMAN—VAN DER HARST-féle homok és kaolin boxok [25] továbbfejlesztésével olyan berendezéseket szerkesszünk, amelyek megoldják ezt a szűk keresztmetszetet és tömegvizsgálatokra k i t ű n ő e n alkalmas, egyszerűen és biztonságosan üzemeltethető eszközt nyújtanak a talajnedvesség potenciáljának meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban.

Berendezések a talaj nedvességpotenciáljának meghatározására az atmoszféra alatti (pF 0–2,7) tenziótartományban

A berendezések leírása

Berendezéseink plexi vázának fényképét a 2. ábrán, a teljes berendezések elvi vázlatát a 3. és 4. ábrán, fényképét az 5. ábrán mutatjuk be. A leírásban zárójelben közölt számok ezen ábrák számaira utalnak.

A berendezés lényege egy 9 mm vastag átlátszó plexiből készített kád (2). A kád oldalainak illesztése speciális vákuum-ellenálló eljárással készült. A kád mérete elvileg tetszőleges, gyakorlatunkban azonban a 25 minta befogadására alkalmas 350 × 330 mm belső alapterületű és 170 mm belső magasságú kádak váltak be legjobban. Ezek még nem túl nehezek, könnyen tölthetők, kezelhetők. A kádakba hézagmentesen, de kiemelhetően egy átlátszó, 10 mm vastag, perforált plexi tartólap (2. ábra (3), 3–5. ábra (8)) illeszkedik. Ez a lap 100 × 100 mm-es kötésben elhelyezett, 25 mm magas és 13 × 13 mm keresztmetszetű plexi lábakon (2. ábra (4), 3–4. ábra (9)) nyugszik és 10 × 10 mm-es kötésben 4 mm átmérő lyukkakkal van perforálva. E perforált plexi lapra először egy kb. 15 mm vastag — mikrobiológiailag inaktív — azbesztyapot réteg kerül (7), amelynek az a szerepe, hogy a porózus töltőanyagnak a perforációkon keresztül a szívótérbe való jutását megakadályozza. Az azbesztyapot rétegre kerül a porózus töltőanyag (6), majd ennek felszínére egy finom lyukú nylon szitaszövet (5). A meghatározás során erre a nylon szitaszövetre helyezük a vizsgálandó hollygatott vagy hollygatlan szerkezetű talajmintákat, 5 cm magas és 100 cm³ térfogatú, alul gumikarikával rögzített finom lyukú nylon szitaszövettel (4) lezárt sárgaréz hengerekben (3). A kádra egy átlátszatlan PVC-ből készült, emelőfüllel ellátott fedél (1) borítható, amely az egész belső teret fénymentesíti. Erre a mikrobiológiai aktivitás (algásodás) megakadályozása szempontjából van szükség. A fedél egyben a belső tér állandó párateltségének megőrzésére is szolgál, amelyet ott egy vízzel telt edénykében elhelyezett gyapotvatta párologtatása biztosít, kiküszöbölve ezzel a talajminták nedvességtartalmának párologási veszteségeit. A plexi kád egyik sarkába kétfuratú gumidugó (11) illeszthető, fúrataiban egy-egy üvegsóvel. Az

egyik eső a porózus réteg alatt elhelyezkedő, vízzel telt, légbuborékmentes szívótér konstans vákuumát biztosító berendezés felé csatlakozik. A másik (10, 12) — csappal lezárhatóan — ugyancsak egy vákuumforráshoz csatlakoztatható és a szívótérben esetleg megjelenő légbuborékok eltávolítását teszi lehetővé.

Homoklapos berendezés

A 3. és 5. ábrán bemutatott homoklapos berendezés a pF 0—2,0 tenziótartományban teszi lehetővé a talaj nedvességpotenciáljának meghatározását.

Itt kell megjegyezni, hogy jelen vizsgálati rendszerben a meghatározott tenzióhoz tartozó nedvességtartalmat minden esetben az 5 cm magas hengerekben elhelyezett talaj nedvességtartalmának összegeként, átlagaként határozzuk meg. Ez gyakorlati szempontból ugyan elfogadható, de természetesen nem jelenti azt, hogy a minta nedvességeloszlása homogén. Az átlag

2. táblázat

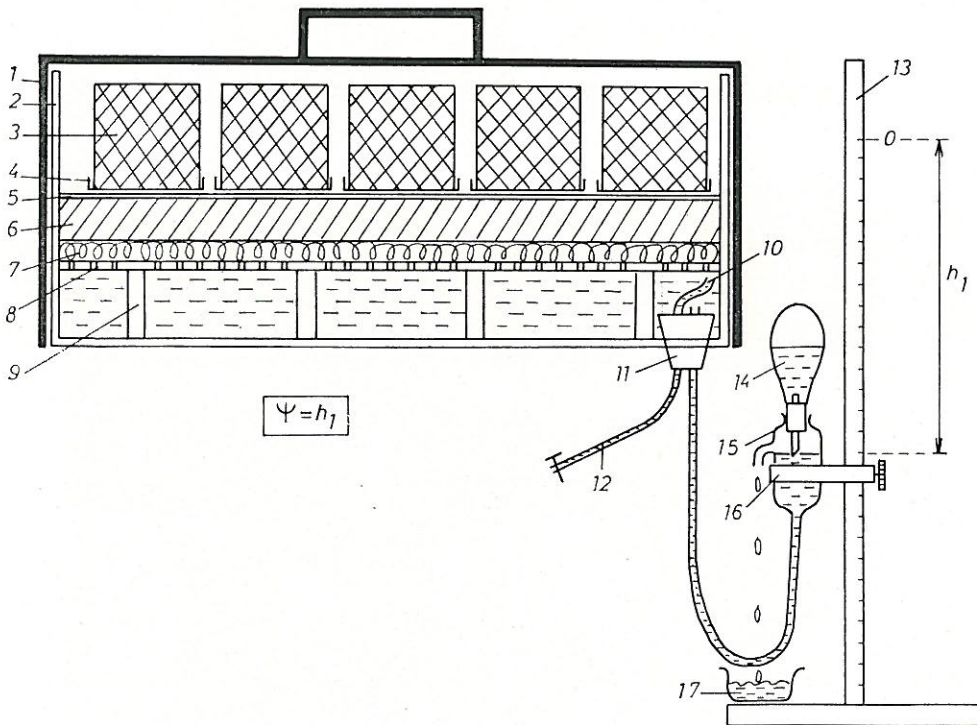
A homoklapos és kaolinlapos pF-mérő berendezés töltőanyagainak mechanikai összetétele (%)

(1) Anyag	(2) Szemcseméret mm-ben					
	1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
a) Kaolin	—	4,24	11,74	13,40	41,82	28,80
b) Finom homok	—	3,88	63,47	17,26	12,92	2,47
c) Durva homok	55,22	44,11	0,67	—	—	—

ugyanis ilyen esetben — a minta inhomogenitásaitól eltekintve — egy lefelé növekvő tendenciájú nedvességprofil takar, hisz szívás alkalmazása esetén a minta felszínén érvényesülő szívóerő mindig 5 cm-el nagyobb, mint a minta alján. Ez a tenziókülönbség a magasabb tenziótartományban elhanyagolható, az alacsony tenziótartományban (pF 0—1,0) azonban jelentős. Gyakorlati szempontból ennek ellenére nem követünk el nagyobb pontatlanságot, ha a mintára ható szívóerő átlagával számolunk, ami azt jelenti, hogy a meghatározás során a minta középvonalát fogadjuk el viszonyítás szintnek (3., 4. ábra).

A pF 0 ($\psi = 1$ cm), illetve pF 0,4 ($\psi = 2,5$ cm) meghatározása nem igényel külön berendezést. A pF 0 értékét gyakorlatilag a vízzel teljesen telített talaj nedvességtartalma reprezentálja (teljes vízkapacitás, összes porozitás). Pontosabban ilyen esetben az 5 cm magas rézhengerben elhelyezett talajminta 3 cm-nyire merül vízbe, így a minta felszínén $\psi = 2$ cm, alján $\psi = 0$ cm, átlaga pedig a megkívánt $\psi = 1$ cm. A pF 0,4 meghatározásakor a talajminta alsó éle kerül vízbe. Így alján $\psi = 0$ cm, felszínén $\psi = 5$ cm, átlaga $\psi = 2,5$ cm = pF 0,4. Mindkét meghatározás elvégezhető a töltőanyag nélküli plexi kádakban. Ilyen esetben a kád alsó nyílását gumidugóval zárjuk le, a hengerekben elhelyezett mintákat a perforált tartólapra helyezzük, a kád kívánt vízszintjét pedig nívópalack és túlfolyó együttes alkalmazásával stabilizáljuk.

A homoklapos berendezésben szívólapként kb. 2 cm vastag durva homok ($\psi = 10$ cm, pF 1,0), illetve 2–3 cm-es finom homok ($\psi = 31,5$ cm, pF 1,5 és $\psi = 100$ cm, pF 2,0) réteget alkalmazunk. A töltőanyagok mechanikai összetételét a 2. táblázatban közöljük. A durva homok levegőáteresztési küszöbértéke $\psi_a = 40-50$ cm, a finom homoké $\psi_a = 140-150$ cm. A durva homok töltőanyag természetes feltárásból származó, az Országos Érc- és Ásványbányák Fehérvár-surgói Üzeme által forgalomba hozott, tisztított, flotált, F 28 kvarchomok. Szervesanyagot, szennyeződések, CaCO_3 -t és oldható alkotórészeket nem tartalmaz, SiO_2 tartalma 99%. Közvetlenül felhasználható a kádak töltésére. Finom homokként ugyanezt a homokot alkalmaztuk, miután golyósmalomban mintegy 45–50 órán keresztül zúzva, koptatva, porítva puderfinomságú porrá finomítottuk. Természetesen más természetes homokok vagy ipari készítmények (kőliszt stb.) ugyanígy felhasználhatók, a követelmény csak a megfelelően homogén szemcseösszetétel, a megfelelően

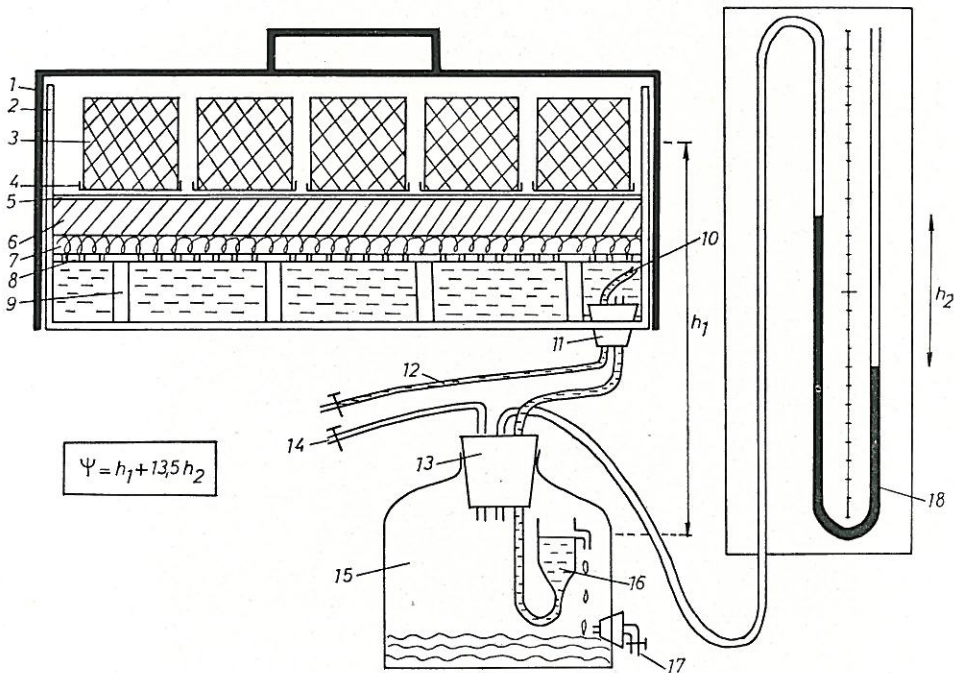


3. ábra

Homoklapos berendezés a talaj nedvességpotenciáljának meghatározására a pF 0–2,0 tenziótartományban. (1) Átlátszatlan PVC fedél emelőfüllel, (2) Átlátszó plexi kád, (3) 100 cm³-s sárgaréz hengerekben elhelyezett talajminta, (4) A hengerek alsó nyílását lezáró nylon szitaszövet, szorító gumikarikával, (5) Nylon szitaszövet a szűrőlap felszínén, (6) Töltőanyag, (7) Azbesztgyapot, (8) Átlátszó plexiből készült perforált tartólap, (9) Tartólap lábazata, (10) Üvegeső a vákuumtérben esetleg megjelenő légbuborékok eltávolítására, (11) Kétfúratú gumidugó, (12) Légbuborék mentesítő cső kivezetése a vákuumforráshoz, (13) Cm-beosztással ellátott acélállvány, (14) Nívópalack, (15) Állandó vízszintet biztosító edény, (16) Rögzíthető fémkonzol, (17) Vízüjtő edény.

nagy levegőáteresztési küszöbérték, a kémiai tisztaság és ellenállóság, valamint a duzzadóképeség hiánya.

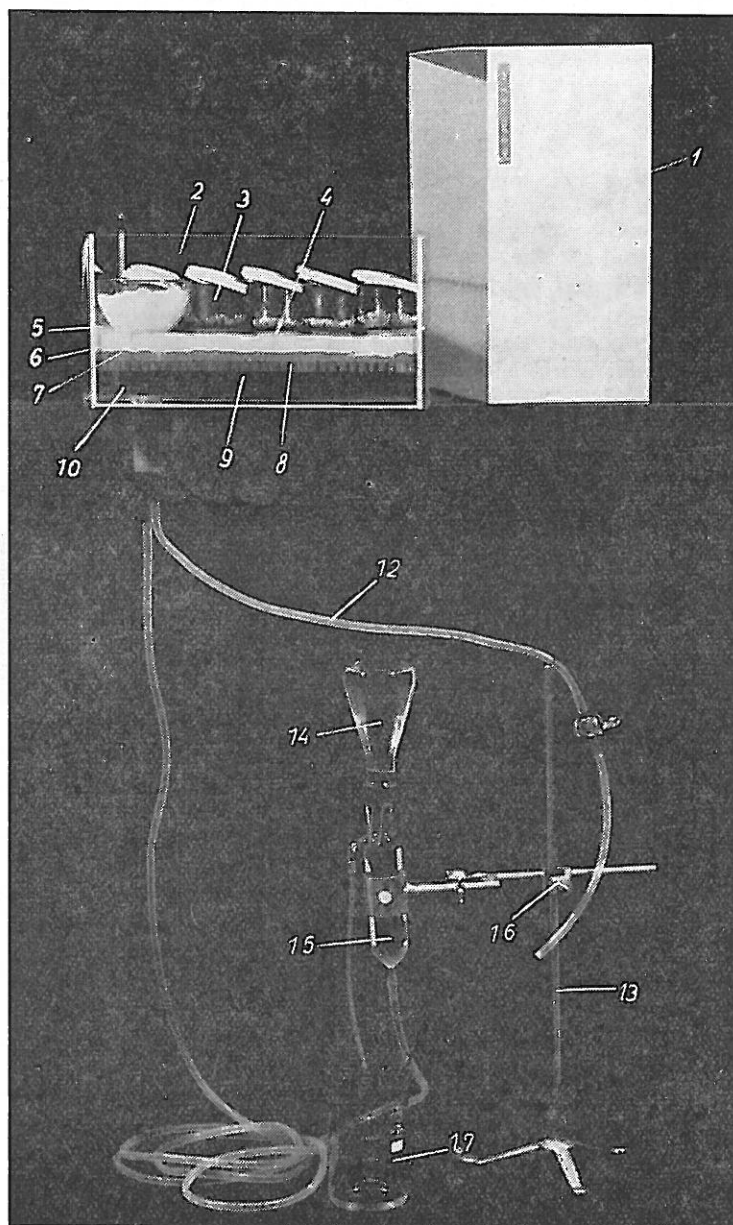
A konstans vákuumot ennél a berendezésnél ún. „függő vízoszlop” biztosítja. Ezt viszont egy cm-beosztású acélállványon (3. és 5. ábra (13)) mozgatható, illetve rögzíthető fémkonzolba (16) foglalt vízszint-edény. A vízszint-edényben az állandó vízszintet egy túlfolyó és nivópalack (14) stabilizálja. Ha a laboratórium hőmérsékletének csökkenése vagy légnívósításának növekedése miatt csökkenne a vízszint-edény vízszintje, úgy a nivópalackból az edény utántöltődik, ellenkező esetben viszont a felesleges víz a túlfolyón keresztül kicsöpög a vízgyűjtő edénybe (17) — a mintákból kiszívott nedvesség mennyiségével együtt. Így a vízszint stabilizálása minden esetben biztosított. A vízszint-edényben lévő konstans vízszint és a mintát tartalmazó hengerek középvonala közti, cm-ben kifejezett h_1 magasság különbség adja a mintára ható szívóerő mértékét: $\psi = h_1$ cm. A pF 1,0 meghatározásánál tehát e magasság különbséget 10,0 cm-re, a pF 1,5 meghatározásánál 31,5 cm-re, a pF 2,0 meghatározásánál 100,0 cm-re állítjuk be. A durva homokkal töltött készülék csak a pF 1,0 meghatározására alkalmas, a finom homokkal töltött készülékek pF 1,5—2,0 meghatározására egyaránt használhatók. Cél-szerű azonban a készülékeket állandóan ugyanazon a szívóerőn működtetni,



4. ábra

Kaolinlapos berendezés a talaj nedvesséspotenciáljának meghatározására a pF 2,0—2,7 tenziótartományban. (1)—(12) lásd 3. ábra, (13) Háromfuratú gumidugó, (14) Vezeték a vákuumstabilizátor felé: vászonbetétes vákuum gumicső, (15) Vákuum s egyben vízgyűjtő edény: vastag falú 10—15 literes üvegpalack, (16) Állandó vízszintet biztosító edény, (17) Csap az összegyűlt víz leeresztésére, (18) Higanys manométer.

így a vízszint-edények elmozdítására nincs szükség, csupán a minták „vándorolnak” a meghatározás során az egyre nagyobb tenziójú kádakba.



5. ábra

Homoklapos berendezés a talaj nedvességpotenciáljának meghatározására a pF 0–2,0 tenziótartományban. (1)–(17) jelzéseket lásd 3. ábra.

Kaolinlapos berendezés

A 4. ábrán bemutatott berendezés pF 2,7—2,8-ig teszi lehetővé a talaj nedvességpotenciáljának meghatározását. Ebben a berendezésben szívólapként 2,5—3,5 cm vastag, 2 : 1 arányú finom homok—kaolin keveréket ($\psi = 200$ cm, pF 2,3), illetve 4—5 cm vastag 1 : 1 arányú finom homok-kaolin keveréket ($\psi = 501$ cm, pF 2,7) alkalmazunk. A berendezéshez használt töltőanyag finom homok komponense a homoklapos berendezésnél is alkalmazott finom homok. A keverékhez felhasznált kaolin Zettlizi tisztított (98—99%-os) kaolin, amelyet golyósmalomban történő 6—7 órás őrlés után használunk fel a töltőanyag keverékek előkészítéséhez. A felhasznált kaolin kémiaiilag tiszta, szennyeződésmentes, más anyagásványokat (elsősorban duzzadó rétegrácsú agyagásványokat) gyakorlatilag nem tartalmaz. Mechanikai összetételét a 2. táblázatban közöljük. Levegőáteresztési küszöbértéke $\psi_a = 600—700$ cm.

A töltőanyagok keverékét kb. 1 : 3 anyag—víz arányú szuszpenzió formájában visszük fel az azbesztgyapot réteg felszínére. Ezáltal arra egy fel-felé egyre finomódó szemcseösszetételű homok-kaolin réteg ülepszik, felszínén mintegy 1, illetve 1,5—2 cm vastag tiszta kaolin réteggel. Ez a kaolinréteg megakadályozza a légbuborékok szívótérbe jutását, a homok viszont javítja a porózus réteg vízáteresztő-képességét.

A konstans vákuumot ennél a berendezésnél függő vízoszlop és vákuumszivattyú együttes alkalmazása biztosítja. A vízszintedény (16) itt egy nagy térfogatú, 10—15 literes, vastag falú vákuumpalackban (15) nyer elhelyezést. E palack egyben a mintákból kiszívott és a vízszint-edény túlfolyóján keresztül kicsepegtető víz összegyűjtésére is szolgál. Az összegyűjtött víz a palack alsó csapján (17) keresztül időnként leereszthető. A palackban levő konstans vákuumot csappal elzárható csövön (14) keresztül a rendszerhez csatlakoztatható olajlégszivattyú biztosítja — higanyos automatika közbeiktatásával, mértékét pedig higanyos manométer (18) regisztrálja. A mintára gyakorolt összes szívóerő ebben az esetben a vízszint-edényben levő konstans vízszint és a mintát tartalmazó hengerek középvonala közti, cm-kben kifejezett magasságkülönbség (h_1), valamint a vákuumpalackban mért vákuum vízoszlop cm-ben kifejezett mértékének (h_2 Hg mm \times 13,5 cm) összege: $\psi = h_1 + 13,5 h_2$ cm.

A berendezések üzemeltetése

A berendezések töltéskor az ürs kádba mintegy 10 cm magasságban kiforralt desztillált vizet öntünk. A (12) csap ilyenkor zárva van, a vízszint-edények stabil vízszintje pedig a kád kívánt vízszintjével egyvonalban. Ezután először a plexi tartólapot helyezük helyére a víz alatt, gondosan ügyelve, hogy sem a lap alatt, sem a perforációkban ne rekedjenek légbuborékok. Ezután az előzetesen vízbe áztatott azbesztpelyhet a víz alatt egyenletes, kb. 15 mm-es vastagságban úgy terítjük a tartólapra, hogy az lehetőleg ne kerüljön a perforációkba, illetve azokon keresztül a szívótérbe. Ezután a vízszint-edények süllyesztésével mintegy 50—60 cm-es vákuumot biztosítunk, ami az azbesztréteget rászívja a plexi tartólapra. A vízszint-edényeken keresztül kifolyó vizet kiforralt desztillált vízzel folyamatosan pótoljuk és a leszívást addig folytatjuk, míg az azbesztrétegből már nem távoznak el lég-

buborékok. Ezt követően a töltőanyagból, illetve töltőanyag-keverékből kiforralt desztillált vízzel 1 : 3 anyag—víz arányú, csomómentes, homogén szuszpenziót készítünk, majd alapos felkeverés után a szuszpenziót óvatosan az azbesztrétegre, illetve az azt borító néhány cm-es vízbe öntjük gondosan ügyelve arra, hogy az azbesztréteget ezzel ne bolygassuk. A töltőanyag teljes mennyiségét egy felöntéssel visszük fel az azbesztrétegre. Ezután a vízszint-edények süllyesztésével (illetve a kaolinlapos berendezésnél megfelelő vákuumforrás, jelen esetben vízlégszivattyú bekapcsolásával) fokozatosan egyre nagyobb vákuumot adunk a rendszerre, s végül valamivel nagyobb vákuum alatt tartjuk, mint amelyen a berendezést üzemeltetni kívánjuk. A vákuum hatása alatt szemcseméret szerint osztályozódva ülepedő szuszpenziót kiforralt desztillált vízzel óvatosan ismételtelen felöntjük és a leszívást a töltőanyag zömének egyenletes leülepedéséig folytatjuk, gondosan ügyelve arra, hogy a felszín soha ne maradjon vízborítás nélkül, hisz a nagyobb vákuum hatása alatt ilyen esetben légbuborékok juthatnak a rendszerbe. Az ülepedés után a vákuumot az üzemelésnél használt mértékre csökkentjük és a leszívást továbbfolytatjuk a felszínre öntött szuszpenzió szabad vízfelszínének eltűnéseig. Ezután a plexi tartólap alatti vízzel telt szívótérben esetleg jelenlévő légbuborékokat a (10) üvegcsövön keresztül eltávolítjuk. Ilyen esetben először kb. felére csökkentjük az alkalmazott vákuumot, a berendezések enyhe döntésével a légbuborékokat abba a sarokba gyűjtjük, ahol a (10) üvegcső van, a (12) vezetékét vákuumforráshoz (célszerűen vízlégszivattyúhoz) csatlakoztatjuk. Az üzemelés során alkalmazott vákuumnál valamivel kisebb (de semmiképpen sem nagyobb) vákuum előállítás után nyitjuk a (12) vezeték csapját és az összegyűjtött légbuborékokat e csövön keresztül kiszívjuk a rendszerből. Mivel a légbuborékok és a velük együtt kiszívott víz ilyen esetben a vízszint-edényekből pótlódik, gondosan ügyeljünk azok vízszintjének stabilizálására, a belőlük kiszívott víz kiforralt desztillált vízzel történő pótlására. Valamennyi légbuborék eltávolítása után zárjuk a (12) vezeték csapját, majd a vákuumstabilizáló berendezéseket eredeti állapotukba (üzemi vákuumra) állítjuk vissza.

Néhány óra múlva — amennyiben újabb légbuborékok nem jelentek meg a szívótérben — a töltőanyag nedves felszínére ráhelyezzük a finom lyukú nylon szitaszövetet, ügyelve arra, hogy ne rekedjenek légbuborékok a szitaszövet és a töltőanyag közé. A berendezés ezzel üzemkész és a töltés utáni 3—4. napon már ráhelyezhetjük a talajmintákat és megkezdhetjük a meghatározást.

A berendezések üzemeltetése során csupán arra kell ügyelni, hogy ne jelenjenek meg légbuborékok a szívótérben, ez ugyanis a homok, illetve kaolinlap hibájára, esetleges sérülésére, mikrorepedéseire utal, amit feltétlenül időben meg kell akadályozni. A megjelenő légbuborékok a kád átlátszó plexilapján keresztül jól láthatók, sőt azok forrása is megfigyelhető. Amennyiben folyamatos buborékolás látható, a lék feltételezett helyének benedvesítése utáni óvatos tömörítésével, elkenésével, esetleg újabb töltőanyag-szuszpenzió felvitelével a hiba többnyire a berendezés szétbontása nélkül kiküszöbölhető. Az esetleges mikrorepedezés megelőzése céljából a töltőanyag kiszáradását meg kell akadályozni, ezért a berendezést mindig tartjuk lefedve és a minták mérésének időtartama alatt szívassunk át néhány cm vastag kiforralt desztillált vizet a töltőanyagon. Amennyiben folyamatos buborékolás ugyan nem észlelhető, de mégis légbuborékok jelennek meg a szívótérben, úgy azokat az

előbbieken ismertetett módon távolíthatjuk el — célszerűen ugyancsak a minták mérésének időtartama alatt. A berendezések más kezelést nem igényelnek, üzemük biztonságos s a fentiekén kívül hibaforrásmentes. A kaolinlapos berendezésnél természetesen ügyelni kell a vákuumpalack konsztans vákuumának fenntartására, az ezt szabályozó higanyos automatika zavartalan működésére. A higanyos manométer állásában 2—3 mm-nél nagyobb ingadozás nem engedhető meg.

A meghatározás során a rézhengerekbe gyűjtött bolygatatlan szerkezetű vagy az azokba helyezett bolygatott szerkezetű talajmintákat először teljesen telítjük vízzel. A telítés időtartamára vonatkozóan közleményünk első részében közölt egyensúlyi időtartamok irányadóak. A telítést úgy végezzük, hogy a mintákat tartalmazó hengerek felső peremükig merülnek vízbe, de a víz nem borítja el felszínüket (ilyen esetben ugyanis a telítés hatására a légbuborékok nehezebben távoznak el). A teljes telítést követően a hengerek összsúlyát táramérlegben vagy gyorsmérlegben centigramm pontossággal lemérjük (e mérési eredményből számítható a talaj teljes vízkapacitása, összporozitása). Ezután a talajmintát tartalmazó hengereket sorrendben a hengerek felső élétől 2 cm-re stabilizált vízszintű kádba (pF 0), majd a hengerek alsó élénél stabilizált vízszintű kádba (pF 0,4), ezután 10,0 (pF 1,0)—31,5 (pF 1,5) — 100,0 (pF 2,0) — 200,0 (pF 2,3) — 501,0 (pF 2,7) cm vákuummal működő berendezések töltőanyagának nylon szitaszövetrel borított felszínére helyezük, illetve a jó kontaktus biztosítása céljából enyhén rányomjuk azokra. Az egyensúlyi állapot elérése után (súlyállandóság 0,1 g pontossággal) a hengerek összsúlyát minden alkalommal centigramm pontossággal lemérjük: $b_0 - b_{0,4} - b_{1,0} - b_{1,5} - b_{2,0} - b_{2,3} - b_{2,7}$ mérések. A mérésorozat befejezése után a hengerekből veszteségmentesen nedvességmérő edénykébe ürítjük a talajmintát, majd szárítószekrényben 105 C°-on súlyállandóságig történő szárítás után meghatározzuk az abszolút száraz talaj, valamint a henger, szorító gumikarika és nylon szitaszövet együttes abszolút szárazsúlyát (a -mérés). Ennek és a különböző szívóerőkkel egyensúlyba hozott talaj + henger összsúlyának (b -mérések) különbsége a talaj térfogat %-ban kifejezett nedvességtartalmát (N) adja — lévén a mintatartó henger térfogata pontosan 100 cm³:

$$\begin{aligned} N_0 &= b_0 - a; \\ N_{0,4} &= b_{0,4} - a; \\ N_{1,0} &= b_{1,0} - a; \\ N_{1,5} &= b_{1,5} - a; \\ N_{2,0} &= b_{2,0} - a; \\ N_{2,3} &= b_{2,3} - a; \\ N_{2,7} &= b_{2,7} - a. \end{aligned}$$

Ezen N -értékeket a pF-függvényében ábrázolva szerkeszthetjük meg a pF-görbéket (1. ábra).

Összefoglalás

1. Vizsgálati rendszert alakítottunk ki a pF-görbék meghatározására a teljes tenziótartományban.

2. Az e vizsgálati rendszerben szűk keresztmetszetet jelentő pF 0–2,7 tenziótartományban történő mérésekhez tömegvizsgálatokra kiválóan alkalmas homoklapos berendezést (pF –2,0) és kaolinlapos berendezést (pF 2,0–2,7) szerkesztettünk.

3. Berendezéseink előnye a hasonló külföldi készülékekkel szemben, hogy töltésük, légtelenítésük, üzembe állításuk lényegesen egyszerűbb és gyorsabb; a szívótérben esetleg megjelenő légbuborékok közvetlenül láthatóak; üzem közben, a berendezés szétbontása nélkül egyszerűen eltávolíthatóak; a berendezés üzemeltetése kényelmesebb, könnyebben ellenőrizhető, így biztonságosabb, megbízhatóbb.

4. Ismertetett vizsgálati rendszerünk alkalmasnak látszik arra, hogy már a közeljövőben átmelessen a talajvizsgálat, talajminősítés, sőt az ezen alapon történő öntözési és vízgazdálkodási szaktanácsadás korszerű gyakorlatába.

5. A pF-görbék alapján nemcsak a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak, a talajnedvesség energiaállapotának, a talajban különböző erővel kötött víz kvalitatív és kvantitatív jellemzésére van lehetőség, hanem ezek a vizsgálatok — helyszíni tenzióméteres mérésekkel kiegészítve — talajtani alapját képezhetik a korszerű mezőgazdasági vízgazdálkodás mesterséges irányításának, szabályozásának, jövőbeni fokozatos automatizálásának is.

E helyen fejezem ki köszönetemet Pusztai Pál intézeti főmérnöknek a berendezések gondos és körültekintő műszaki tervezéséért, valamint a nagy pontosságú és biztos üzemű vákuumstabilizátor tervezéséért és elkészítéséért, továbbá a Főti Műanyag KTSZ-nek a berendezések plexi alkatrészeinek hibátlan és tetszetős kivitelű elkészítéséért.

Irodalom

- [1] BAVER, L. D.: Soil Physics. 3rd Edition. John Wiley and Sons. New York. 1956.
- [2] CZERATZKI, W.: Eine keramische Platte zur serienmässigen Untersuchung von Porengrössen im Boden im Spannungsbereich bis ca. 1 Atm. Zeitschr. f. Pflanzern. Düng. Bdk. **81.** (126) 50–56. 1958.
- [3] GARDNER, W.R.: Soil water relations in arid and semi-arid conditions. Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions. Reviews of research. Arid Zone Res. **XV.** 37–61. 1960.
- [4] DI GLÉRIA, J., KLIMES-SZMIK, A. & DVORACSEK, M.: Talajfizika és talajkolloidika. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1967.
- [5] GLOBUSZ, A. M.: Ekszperimetal'naja gidrofizika pocsv. Hidrometeorologiceszkoe Izd. Leningrád. 1969.
- [6] HAGAN, R. M., HAISE, H. R. & EDMUNSTER, T. W.: Irrigation of agricultural lands. Amer. Soc. Agron. Ser. Agronomy. **11.** Madison, 1967.
- [7] JAMISON, V. C.: Sand-silt suction column for the determination of moisture retention. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **22.** 82–83. 1958.
- [8] JAMISON, V. C. & REED, I. F.: Durable asbestos tension tables. Soil Sci. **67.** 311–318. 1949.
- [9] KAZÓ, B.: Soil moisture determination on the basis of suction force with tensiometer. IMEKO Symposium on Moisture Measurement. Esztergom. 241–247. 1971.
- [10] KLIMES-SZMIK, A.: Az altalajöntözés elméleti alapjai: A talajnedvesség egyensúlyi állapotának és mozgásának energetikai jellemzői. Kézirat. Budapest. 1970.
- [11] LEAMER, R. W. & SHAW, B. T.: A simple apparatus for measuring noncapillary porosity on an extensive scale. J. Amer. Soc. Agronomy. **33.** 1003–1008. 1941.

- [12] LESZTÁK, V.: Az öntözés hatása a talaj fizikai sajátságaira szikes területen. *Agrokémia és Talajtan*. **5**. 307—324. 1956.
- [13] Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. *Amer. Soc. Agron. Ser. Agronomy*. **9**. Madison. 1965.
- [14] NIELSEN, D. R. & PHILIPS, R. E.: Small fritted glass bead plates for determination of moisture retention. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **22**. 574—575. 1958.
- [15] RICHARDS, L. A.: Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Sci.* **66**. 105—110. 1948.
- [16] RICHARDS, L. A.: Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.* **68**. 95—112. 1949.
- [17] RICHARDS, L. A.: Methods for mounting porous plates used in soil moisture measurements. *Agron. J.* **41**. 487—490. 1949.
- [18] RICHARDS, L. A. & FIREMAN, M.: Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. *Soil Sci.* **56**. 395—404. 1943.
- [19] RICHARDS, L. A. & OGATA, G.: Materials for retainer plates and their use for retentivity measurements. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **20**. 303—306. 1956.
- [20] RICHARDS, S. J. & MARSH, A. W.: Irrigation based on soil suction measurements. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **25**. 65—69. 1961.
- [21] SCHOFIELD, R. K.: The pF of the water in soil. *Trans. 3rd. Int. Congr. Soil Sci.* **2**. 37—48. 1935.
- [22] SOEIRO, F. A.: Mouvement et Repartition de l'Humidité dans les Sols et les Matériaux de Construction. (Réunion d'Information sur l'Eau dans les Corps Poreux, St. Remy-les-Chevreaux, 22—23 Juin, 1959). Paris. 29—68. 1960.
- [23] STAKMAN, W. P.: Soil moisture measurements. 7th Int. Course on Land Drainage, Syllabus of the lectures (1.2.5.) Manuscript. Wageningen. 1968.
- [24] STAKMAN, W. P.: Bepaling van vochtspanning en vochtgehalte van gronden door middel van dampspanningsevenwichten. *Inst. Cultuurtechn. Waterhuish., Wageningen. Mededeling. No. 111*. 1—44. 1968.
- [25] STAKMAN, W. P. & HARST, G. G. VAN DER: Soil moisture retention curves. II. Directions for the use of the sand-box apparatus. Range pF 0 to 2,7. *Inst. Land and Water Manag. Res. Wageningen*. 1965.
- [26] TANNER, C. B., BOURGET, S. J. & HOLMES, W. E.: Moisture tension plates constructed from alundum filter discs. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **18**. 222—223. 1954.
- [27] TANNER, C. B. & ELRICK, D. E.: Volumetric porous (pressure) plate apparatus for moisture hysteresis measurements. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **22**. 575—576. 1958.
- [28] VÁRALLYAY, GY.: A talajok víz- és sóháztartásának kérdései Hollandiában. *Agrokémia és Talajtan*. **18**. 327—338. 1969.
- [29] Water in the unsaturated zone. (Proc. of the Wageningen Symp. 1966). Vol. I. IASH/AISH-UNESCO Publ. No. 82. Paris. 1968.

Érkezett: 1973. február 13.

Soil Moisture Potential and a New Apparatus for the Determination of Moisture Retention Curves in the Low Suction Range (0—1 Atmospheres).

G. VÁRALLYAY

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

Summary

The potential concept of soil moisture, the interpretation of the total potential of soil water and its components are briefly reviewed, the definition of matric potential and pF are given, the characteristics of soil moisture retention curves and their multi-purpose applicability in modern soil survey, soil testing, irrigation and drainage advisory practice and automation are discussed and methods used for the determination of

soil moisture potential, matric suction and soil moisture retention curves are summarized and evaluated in the first part of the present paper (literature review).

A survey system was developed by the author for the determination of soil moisture retention curves in the whole suction range (Table 1). This system — supplemented by field tensiometer measurements — can be used as a soil scientific basis of the agricultural water economy control and its automatization in the near future. The range pF 1,0 to 2,7 is the most problematic in this system from the viewpoint of serial analyses.

On the basis of his experiences in the Netherlands (ICW, Wageningen) the author designed two apparatus for the determination of soil moisture retention curves in the low suction range (0—1 atmospheres). Both of them are very suitable for serial analyses. The sand box apparatus (Fig 3 and 5) can be used in the suction range pF 0 to 2,0 whereas the kaolin box apparatus (Fig 4) in the suction range pF 2,0—2,7.

The advantages of the author's apparatus in comparison to similar ones designed in other countries [7, 25] are as follows: their filling up with the porous medium, bleeding, i.e. preparation for the determinations are much simpler and quicker, the air bubbles are visible and so easily detectable in the transparent plexi box vacuum chamber and they can be removed simply, *during operation* without disturbing the apparatus. Consequently the apparatus can be used more comfortably, can be controlled easier and the operational safety is better.

In the paper — as an example — moisture retention curves are presented for various Hungarian soils, determined in the above mentioned sand and kaolin boxes, as well as, in pressure-membrane apparatus (pF > 3,0).

Table 1. Survey system for the determination of soil moisture retention curves in the whole suction range. (1) Suction range — water column cm. (2) Porous media. (3) Applicable method, apparatus. (4) Soil moisture constants.

Table 2. Particle size distribution of porous media used in the sand and kaolin boxes (%). (1) Porous medium. (2) Particle size — mm. (a) Kaolin. (b) Fine sand. (c) Coarse sand.

Fig. 1. Moisture retention curves of some Hungarian soils. 1. Coarse sand. 2. Calcareous chernozem, loam, 0—25 cm (Mezőföld loess plateau — Érd). 3. Sandy loess parent material of calcareous chernozem (Mezőföld loess plateau — Érd). 4. Meadow chernozem, non calcareous, clay loam, 0—20 cm (Szolnok loess plateau — Törökszentmiklós). 5. Shallow meadow solonetz, non calcareous B₁—horizon, loamy clay, 3—15 cm (Hortobágy—Püspökladány).

Fig. 2. Plexi box of the apparatus for the determination of soil moisture retention curves in the suction range pF 0 to 2,7. (1) Non transparent PVC lid with lifting handle. (2) Plexi box, prepared from 9 mm thick transparent plexi plate. (3) 10 mm thick transparent plexi plate, perforated with pin holes of 4 mm diameter, spacing in 10×10 mm. (4) 25 mm high transparent plexi legs of 13×13 mm sectional surface, spacing in 100×100 mm.

Fig. 3. Sand box apparatus for the determination of soil moisture retention curves in the suction range pF 0 to 2,0. (1) and (2) See in Fig. 2. (3) Soil sample in brass or stainless steel cylinder numbered for identification (height 50 mm, volume 100 cm³). (4) Nylon cloth attached to the lower opening of the cylinder using a rubber band. (5) Nylon cloth on the smooth surface of the porous medium. (6) Porous media: 2 cm thick coarse sand (air bubbling value $\psi_a = 40-50$ cm) layer for the determination of pF 1,0; 2—3 cm thick fine sand (air bubbling value $\psi_a = 140-150$ cm) layer for the determination of pF 1,5 and 2,0. (7) About 15 mm thick asbestos wool layer. (8) 10 mm thick transparent plexi plate, perforated with pin holes of 4 mm diameter, spacing in 10×10 mm. (9) 25 mm high transparent plexi legs of 13×13 mm sectional surface, spacing in 100×100 mm. (10) Glass tube using to remove air bubbles from the vacuum chamber filled with water. (11) Rubber stopper with two holes. (12) Transparent plastic tubing — with stopcock — for connection to the vacuum source (connected with the glass tube (10) used to remove air bubbles from the vacuum chamber). (13) Stainless steel sliding measuring stand with cm graduation. (14) Levelling (supply) bottle. (15) Constant-level bottle with overflow tube. (16) Clamp, supporting the constant-level bottle, can be moved and fixed with a wing-screw. (17) Collecting vessel.

Fig. 4. Kaolin box apparatus for the determination of soil moisture retention curves in the suction range pF 2,0 to 2,7. (1) and (2) See in Fig 2. (3)—(12) See in Fig 3. The porous medium in this apparatus is a mixture of fine sand and kaolin (air bubbling value $\psi_a = 600-700$ cm). For the determination of pF 2,3 a 2,5—3,5 cm thick layer of 2 : 1 fine sand — kaolin mixture, for the determination of pF 2,7 a 4—5 cm thick

layer of 1 : 1 fine sand-kaolin mixture were used. (13) Rubber stopper with three holes. (14) Rubber and hamp hose vacuum tube for connection to the vacuum stabilizator (automatic mercury stabilizator). (15) Collecting bottle and at the same time depression vessel: thick-walled 10—15 litre glass bottle. (16) Constantlevel vessel. (17) Stopcock to drain the accumulated water. (18) Mercury manometer.

Fig. 5. Sand box apparatus for the determination of soil moisture retention curves in the suction range pF 0 to 2,0. (1) and (2) See in Fig 2. (3)—(17) See in Fig 3.

Potentiel de l'humidité du sol et un nouvel appareil pour déterminer les courbes de rétention de l'eau dans un domaine bas de tension (de 0 à 1 atm)

G. VÁRALLYAY

Institut de Recherche de Pédologie et de Chimie Agricole de l'Académie des Sciences de Hongrie, Budapest

Résumé

On donne une courte récapitulation concernant le concept du potentiel de l'humidité du sol, l'interprétation et les composants du potentiel total de l'eau du sol. On définit le potentiel de matrice et les valeurs pF et on s'occupe des caractéristiques des courbes de rétention pour l'eau, leur applicabilité très variée dans la prospection moderne des sols, l'analyse des sols, l'encouragement et l'automatisation de l'irrigation et du drainage. Dans la première partie de cette étude (récapitulation de la littérature), on donne une évaluation des méthodes employées pour la détermination du potentiel de l'humidité du sol, de la suction matrice et des courbes de rétention pour l'eau.

L'auteur a élaboré une système pour établir les courbes de la rétention pour l'eau dans le domaine entier de suction (Tab. 1). Ce système complété par des mesurages au tensiomètre sur place peut servir comme base pédologique au cours de l'organisation et de l'automatisation de l'aménagement agricole des eaux dans l'avenir proche. De l'aspect des analyses en séries c'est le domaine de pF entre 1,0 et 2,7 qui donne des problèmes en employant ce système.

A la base de ses expériences aux Pays-Bas (ICW, Wageningen) l'auteur a construit deux appareils pour la détermination des courbes de rétention de l'eau du sol dans un domaine bas de suction (0 à 1 atm). Tous les deux sont bien aptes aux analyses en séries. Le dispositif à plaque de sable (Figs. 3 et 5) est employé au cas du domaine de suction pF 0 à 2,0, tandis que celui à plaque de kaoline (Fig. 4) est recommandable au cas de pF entre 2,0 et 2,7.

Les avantages de l'appareil de l'auteur sont les suivants en comparaison avec ceux construits dans d'autres pasys (7, 25): son remplissage avec du matériau poreux, le désaéragé, c'est-à-dire sa préparation pour les déterminations est beaucoup plus vite et simple; les bulles d'air sont visibles, ainsi bien détectables dans la chambre d'aspiration en plexi transparent et elles peuvent être éliminées avec aise pendant l'opération sans démonter l'appareil. Conséquemment, l'emploi de l'appareil est plus confortable, son contrôle est plus facile, ainsi la sécurité de fonctionnement est meilleur.

Tableau 1. Système pour la détermination des courbes de rétention de l'eau dans le domaine entier de suction. (1) Domaine de suction — colonne d'eau, cm. (2) Milieu poreux. (3) Méthode employée, appareil. (4) Constantes de l'humidité du sol.

Tableau 2. Distribution des particules suivant leur grosseur dans le milieu poreux employé pour les plaques de sable et de kaoline, %. (1) Milieu poreux. (2) Dimensions des grains, mm. a) Kaoline. b) Sable fin. c) Sable grossier.

Fig. 1. Courbes de rétention pour l'eau de quelques sols hongrois. 1. Sable grossier. 2. Chernozem calcaire, limon, 0 à 25 cm (plateau de loess de Mezőföld — Érd). 3. Matériel de départ sableux loessique du chernozem calcaire (plateau de loess de Mezőföld — Érd). 4. Chernozem de prairie, non calcaire, limon argileux, 0 à 20 cm (plateau de loess de Szolnok — Törökszentmiklós). 5. Solonetz de prairie peu profond, horizon B₁ non calcaire, argile limoneux, 3 à 15 cm (Hortobágy — Püspökladány).

Fig. 2. Plaque en plexi de l'appareil pour la détermination des courbes de rétention pour l'eau du sol dans le domaine de suction entre pF 0 et 2,7. 1. Couvercle intransparent avec un levier. 2. Boîte préparée de plexi transparent de l'épaisseur de 9 mm.

3. Plaque de support en plexi transparent à l'épaisseur de 10 mm, perforée des trous au diamètre de 4 mm en arrangement de 10×10 mm. 4. Pied en plexi transparent de l'hauteur de 25 mm; (section transversale: 13×13 mm, distance 100×100 mm).

Fig. 3. Plaque de sable de l'appareil pour la détermination des courbes de rétention pour l'eau du sol dans le domaine de succion entre pF 0 et 2,0. Pour 1 et 2 voir Fig. 2.

3. Échantillon de sol dans un cylindre en cuivre ou acier inoxydable, numéroté pour faciliter l'identification (hauteur 50 mm, volume 100 cm^3). 4. Tissu de nylon attaché à l'orifice inférieur du cylindre à l'aide d'un ruban élastique. 5. Tissu de nylon sur la surface égale du milieu poreux. 6. Milieu poreux: couche de sable grossier d'épaisseur de 2 cm (valeur de barbotage d'air $\psi_a = 40$ à 50 cm) pour déterminer le pF 1,0; couche de sable fin d'épaisseur de 2 à 3 cm (valeur de barbotage d'air $\psi_a = 140$ à 150 cm) pour déterminer les pF 1,5 et 2,0. 7. Couche de fibre d'asbeste d'épaisseur d'environ 15 mm. 8. Plaque de plexi transparent de l'hauteur de 25 mm, section transversale 13×13 mm, aux distances de 100×100 cm. 10. Tube de verre pour éliminer les bulles d'air de la chambre d'aspiration, remplie de l'eau. 11. Bouchon en caoutchouc avec deux trous. 12. Tube en matériau plastique transparent servant à l'élimination des bulles d'air, conduisant à la source de vacuum. 13. Support de mesure en acier inoxydable, gradué en centimètres. 14. Bouteille de niveau. 15. Récipient assurant en niveau constant, fourni d'un tuyau de trop-plein. 16. Console en métal soutenant le récipient, remuable ou fixable avec une vis aillée. 17. Récipient collecteur.

Fig. 4. Plaque de kaoline de l'appareil pour la détermination des courbes de rétention pour l'eau du sol dans le domaine de succion entre pF 2,0 et 2,7. Pour 1 et 2 voir Fig. 2. Pour 3 et 12 voir Fig. 3. Le milieu poreux dans cet appareil est une mixture de sable fin et de kaoline (valeur de barbotage d'air $\psi_a = 600$ à 700 cm). Pour la détermination de pF 2,3 on a employé une mixture du sable fin et kaoline au rapport de 2 : 1, de l'épaisseur de 2,5 à 3,5 cm et pour la détermination de pF 2,7 une mixture de sable fin et kaoline au rapport de 1 : 1 (épaisseur: 4 à 5 cm) était convenable. 13. Bouchon en caoutchouc avec trois trous. 14. Tube à vide en caoutchouc au pli en toile, conduisant vers le stabiliseur de vide (stabiliseur automatique à mercure). 15. Récipient collecteur étant en même temps un vase de dépression: bouteille de verre de 10 à 15 litres, à paroi épaisse. 16. Récipient assurant un niveau constant, fourni d'un tuyau de trop-plein. 17. Robinet pour évacuer l'eau accumulée. 18. Manomètre à mercure.

Fig. 5. Plaque de sable de l'appareil pour déterminer les courbes de rétention pour l'eau du sol dans le domaine de succion entre pF entre 0 et 2,0. Pour 1 et 2. voir. Fig. 2. Pour 3 à 17 voir Fig. 3.

Потенциал почвенной влаги и новая аппаратура для его определения в диапазоне низкого напряжения (ниже атмосферы)

ДЬ. ВАРАЛЛЯИ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт (Венгрия)

Резюме

В данной работе автор обобщает основные заключения относительно потенциала почвенной влаги и влияющих на него факторов. Объясняет понятие rF , характерные особенности кривых rF , а также возможности многостороннего их использования в новейших методах почвенных исследований, оценки почвы, в практических советах по водоснабжению и орошению, при автоматизации орошения и т. д. Приводит кривые rF некоторых венгерских почв.

На основании литературных данных обобщает и оценивает различные способы, методы определения потенциала почвенной влаги.

Приводит систему анализа для съемки кривых rF во всех областях напряжения (Таблица 1). Установил, что в этой системе при серийных анализах затруднения проявляются при rF 0—2,7.

Данная система, при дополнении ее тензиометрическими измерениями на поле, может служить основой для управления, регулирования сельскохозяйственного водоснабжения, в будущем для постепенной автоматизации.

Автор сконструировал аппаратуру, пригодную и для серийных анализов, для определения потенциала почвенной влаги в областях низкого напряжения (ниже одной атмосферы). Приборы с песчаными пластинами позволяют проводить измерения в пределах rF 0—2,0, а с пластинами из каолина в интервалах rF 2,0—2,7. По сравнению с заграничными приборами подобного типа [7, 25], преимущество данной аппаратуры состоит в том, что наполнение, удаление воздуха, использование аппаратуры гораздо проще и быстрее; пузырьки воздуха, случайно попавшие в сосущее поле, сразу же видны и могут быть удалены непосредственно во время работы прибора без его разборки; использование аппаратуры довольно простое, легко контролируемое, таким образом, более надежно и достоверно.

Рис. 1. Кривые rF некоторых венгерских почв. 1. Грубый песок. 2. Слой 0—25 см мицеллярного чернозема суглинистого по механическому составу (Лёссовое плато Мезёфёльд—Эрд). 3. Песчаный лёсс почвообразующая порода мицеллярного чернозема (Лёссовое плато Мезёфёльд—Эрд). 4. Слой 0—20 см тяжелосуглинистого лугового чернозема (Лёссовое плато Солнока—Тёрёксентмиклош). 5. Корковый луговой солонец глинистый по механическому составу, горизонт В₁, 3—15 см (Хортобадь—Пюшпёкладань).

Рис. 2. Каркас из стекла плекси прибора для определения потенциала почвенной влаги в интервалах 0—2,7. (1) Крышка из непрозрачного синтетического материала. (2) Ванночка, изготовленная из прозрачного плекси стекла толщиной в 9 мм. (3) Несущая пластина из прозрачного плекси стекла толщиной в 10 мм, перфорированная круглыми отверстиями диаметром в 4 мм, на расстоянии друг от друга в 10 мм. (4) Подставки из плекси стекла, высотой в 25 мм, поперечным сечением в 13 мм, расположенные на расстоянии 100×100 мм.

Рис. 3. Прибор с песчаной пластиной для определения потенциала почвенной влаги в пределах 0—2,0. (1) Крышка из непрозрачного синтетического материала, с ручкой. (2) Ванночка, изготовленная из прозрачного плекси стекла толщиной в 9 мм. (3) Почвенные образцы, помещенные в цилиндры из желтой меди высотой в 5 см, объемом в 100 см³. (4) Нейлоновая сетчатка, закрывающий нижний конец цилиндра, с сажимающим резиновым кольцом. (5) Нейлоновая сетчатка на поверхности фильтрующей пластины. (6) Наполнитель. (7) Асбестовые хлопья слоем толщиной в 15 мм. (8) Несущая пластина из прозрачного плекси стекла толщиной в 10 мм, перфорированная круглыми отверстиями диаметром в 4 мм, на расстоянии друг от друга в 10 мм. (9) Подставки из плекси стекла, высотой в 25 мм, поперечным сечением в 25 мм, расположенные на расстоянии 100×100 мм. (10) Стеклоянная трубка для удаления возможных пузырьков воздуха из вакуум-камеры (11) Резиновая пробка с двумя отверстиями. (12) Выведение трубки для удаления пузырьков к источнику вакуума. (13) Стальной штатив с сантиметровой градуировкой. (14) Сосуд с постоянными уровнем воды. (15) Сосуд поддерживающий постоянный уровень. (16) Штатив. (17) Сосуд для сбора воды.

Рис. 4. Прибор с каолиновой пластиной для определения потенциала почвенной влаги в пределах rF 2,0—2,7. (1)—(12) смотри на рисунке 3. (13) Резиновая пробка с

тремя отверстиями. (14) Вакуумная резиновая трубка с матерчатой подкладкой, ведущая к вакуумстабилизатору. (15) Вакуум и одновременно сосуд для сбора воды: толстостенный 10—15 литровый стеклянный сосуд. (16) Сосуд поддерживающий постоянный уровень воды. (17) Кран для спуска воды. (18) Ртутный манометр.

Рис. 5. Прибор с песчаной пластиной для определения потенциала почвенной влаги в пределах рF 0—2,0. Обозначения от (1) до (17) смотри на рисунке 3.

Табл. 1. Система исследования для определения потенциала почвенной влаги во всех областях рF. (1) Сосущая сила в см водного столба. (2) Материал пористой пластины. (3) Использованный метод, аппаратура. (4) Почвенно физические параметры.

Табл. 2. Механический состав материала (%), составляющего песчаные и каолиновые пластины в приборе для измерения рF. (4) Материал. (2) Размер частичек в мм. (а) Каолин. (b) Тонкий песок. (c) Грубый песок.