

Miroslav Penka a Milan Nováček:

Vliv kvantitativních a kvalitativních vlastností humusu na vodní režim přirozených půd.

(Práce z ústavu pro fyziologii rostlin přírodovědecké fakulty university v Brně.)

I. Úvod.

Již Sachs (1859) svými pokusy o vadnutí rostlin ve vysychajících půdách dokázal, že v těchto půdách je vždy obsaženo určité množství vody, které je pro kořeny rostlin nepřístupné. K podobným závěrům dospěl Mayer (1874), Šiškin (1876), Bogdanov (1889), Kostyčev (1908) a j. Na základě těchto výsledků byla ona část půdní vody, která je rostlinami využívána a spotřebovávána, označena jako voda fyziologicky přístupná (užitečná) a ona část vody v půdě, která rostlinami nemůže být spotřebovávána, jako mrtvá zásoba. Podle stavu fyziologicky přístupné vody v půdě rozeznává Sekera (1932, 1938 a, b) staticky a dynamicky užitečnou vodu. Za staticky užitečnou (přístupnou) vodu označuje Sekera onen podíl půdní vody, který je kořenovému systému rostlin přístupný a jenž může být kořenovým vlášením bezprostředně čerpán. Za dynamicky užitečnou vodu označuje Sekera onen podíl staticky užitečné vody, který dostává rostlina z míst vzdálenějších, vlhčích, pohybem tak rychlým, že může stačit k rychlému odběru vody jejími kořeny, resp. nahrazovat její nedostatek v množství postačitelém k fyziologickým funkcím rostlin. Sekera předpokládá, že dynamicky užitečná voda je v hodnotě asi $\frac{3}{4}$, t. j. 75 % staticky užitečné vody v půdě.

Jednou z výstižných metod zjištění fyziologicky přístupné vody v půdě a rychlosti jejího výdeje je stanovení výparových křivek a kritického obsahu vody v půdě podle Sekery (1932, 1938 a, b). Při vypracování této metody vycházel Sekera z výsledků Gradmannových křivek (Gradmann 1929). Ssací síla, kterou je voda z půdy odnímána výparem, je závislá na sytostním doplnku vzdušném (Kopecký 1916) a působí na povrch půdy. Vypařovaná voda musí být přiváděna k povrchu ze spodních vrstev, takže intenzitou výparu lze měřit pohyb vody v půdě. Pohyblivost vody se však projeví jen tehdy, pokud bude rychlost výparu z povrchu větší, nežli možný pohyb vody v půdě (Gössl 1940). Gradmannovy i Sekerovy křivky, které charakterizují vztah mezi obsahem vody v půdě a intenzitou výparu vykazují v typickém případě charakteristický tvar, a to části příkře spadající, dosti náhlý ohyb, Sekerou (l. c.) označovaný jako „Gradmannův efekt“ a část vodorovnou. Ohyb ukazuje, že pohyb vody v půdě, resp. jejich vydatnost náhle poklesla a tomu odpovídající obsah vody v půdě je hranicí mezi snadno pohyblivou vodou kapilární a těžko pohyblivou vodou kapilární. Vlhkost půdy, odpovídající tomuto místu ohybu, je rovna kritickému obsahu vody v půdě. Všeobecně se má za to, že kritický obsah vody v půdě je totožný s bodem lentokapilárním (Widtsøe 1926) a svým způsobem i s koeficientem vadnutí (Briggs a Shantz 1912). Sekera zjistil, že kritickému obsahu vody v půdě odpovídá ssavé napětí 1 atm. Autor také dokázal, že počáteční část výparových křivek, příkře probíhající, představuje snadno pohyblivou vodu kapilární, která je půdou držena silou do 1 atm. V místě ohybu na snadno pohyblivou vodu kapilární navazuje těžko pohyblivá obalová voda kapilární, která je vázána silami od 1 do 50 atm a pak následuje voda hygroskopická, jež je vázána silami většími než 50 atm. V závěru svých prací došel Sekera k názoru, že rostlinami může být čerpána jen snadno pohyblivá voda kapilární, zatím co těžko pohyblivá obalová voda kapilární nemůže být rostlinami využita.

Téměř na stejných principech jako metody Gradmanna (1929) a Sekery (1932) je založena i metoda vysychacích křivek zemin podle Penky (1955). Také průběh vysychacích křivek zemin, který je zřetelnější než u křivek Gradmannových a Sekerových, vyazuje tři typické fáze, a to příkře probíhající počáteční fázi, která byla označena jako prvá lineární fáze, část ohybovou, označovanou jako fázi ohybovou a část probíhající skoro vodorovně, označovanou jako druhou fázi lineární. Aby bylo možno s hlediska fyziologického zevšeobecnit účinek jednotlivých forem půdní vody (Lebedějev 1918; Zunker 1930 a j.) při klesajícím obsahu fyziolo-

gicky přístupné vody v půdě, navrhl Penka stanovení zpomalení růstu (A) a zastavení růstu (B) rostlin. Tyto charakteristické znaky vadnutí a růstu rostlin, způsobené nedostatkem půdní vláhy, jsou společně všem rostlinám a předběžají vždy snížení sklizně plodin. Bylo zjištěno, že zpomalení růstu rostlin se dostáváje téměř u všech rostlin za stavu, kdy obsah snadno pohyblivé vody kapilární v půdě poklesl na minimální hodnoty. Na vysychacích křivkách tomuto místu odpovídá přechod prvé lineární fáze ve fázi ohybovou. Zastavení růstu rostlin nastává tehdy, kdy rychlost pohyblivosti prudek poklesá. Na vysychacích křivkách tomuto stavu odpovídá místo, které lze ztotožňovat se Sekerovým kritickým obsahem vody v půdě (S e k e r a 1932, 1938 a, b). Příčiny tohoto prudkého poklesu rychlosti půdní vody byly vysvětleny výsledky mnoha autorů (S h u l l 1916; G r a d m a n n 1929; S e k e r a 1932, 1938 a, b; M a k s i m o v 1952). Podle hodnot zpomalení růstu, zastavení růstu a bodu vadnutí rozdělil P e n k a (l. c.) veškerou kapilární vodu v půdě s fyziologického hlediska na vodu fyziologicky produktivní (až po zastavení růstu) a fyziologicky neproduktivní (od bodu zastavení růstu po bod vadnutí). Potvrdil, že rostlinami může být nejužitečnější z veškeré kapilární vody využita snadno pohyblivá voda kapilární. Z těžko pohyblivé obalové vody kapilární může být rostlinami odčerpávána jen malá část, která je na vysychacích křivkách zemín znázorněna rozmezím od zpomalení růstu (A) po zastavení růstu (B), jak je možno sledovat na obr. 3.

Všeobecně je známo, že obsah organické hmoty (humus) v půdě pozměňuje množství veškeré kapilární vody a její rychlost pohyblivosti i výdeje (S e k e r a 1938 a, b; V i l j a m s 1940; D o l g o v 1948; M a k s i m o v 1952 a j.). Poznatky těchto změn vodního režimu půd jsou důležité při zavádění nových agrotechnických a agrobiologických metod v zemědělství (V i l j a m s 1940, 1950; L y s e n k o 1948 a j.). Z těchto důvodů byl studován v této práci vliv humusu na vodní režim přirozených půd a použitelnost metody vysychacích křivek zemín podle P e n k y (1955).

II. Materiál a metoda.

Aby mohl být studován vliv různého obsahu humusu na vodní provoz půd, byly jako materiál použity vzorky přirozených lesních půd, které byly sebrány na úderce ústavu pro fyziologii rostlin přírodovědecké fakulty university v Brně, v srpnu 1952 v okolí Radhoště, Tanečnice a Kněhyně v Beskydech.

Stručná charakteristika jednotlivých půd, které byly vzaty do pokusů, je tato:

Půda č. 1: Vzorek byl brán asi 40 m od lanové dráhy směrem k silnici Pustevny—Frenštát, ze svahu exponovaného na západ, pod úhlem asi 15°, v bukovém lese. Stáří kultury bylo 40 až 100 let; vzorek byl brán u dekomponovaného bukového pařezu. Porost byl zjištěn tento: *Rubus idaeus* L., *Rubus fruticosus* L., *Poa nemoralis* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Dryopteris filix-mas* Schott., *Dicranum scoparium* L.

Půda č. 2: Vzorek byl brán asi 60 m pod silnicí Frenštát—Pustevny, ze svahu exponovaného na východovýchodosever se sklonem 40 až 50° v bukovém lese. Stáří kultury bylo odhadnuto na 30 až 80 let. Vzorek byl vyjmut u bukového pařezu z hloubky 0 až 6 cm. Byl zjištěn tento porost: řídce *Dryopteris filix-mas* Schott., *Oxalis acetosella* L., dále *Mercurialis perennis* L. a *Dentaria bulbifera* L.

Půda č. 3: Vzorek byl brán asi 15 m nad silnicí Pustevny—Bečva na rovině exponované k jihu, ze smrkové monokultury, jejíž stáří bylo asi 30 až 50 let. Hloubka vzorku byla 3 až 6 cm. Byl zjištěn tento porost: *Dicranum scoparium* L. a *Hypnum cupressiforme* L.

Půda č. 4: Pochází z místa asi 25 m od cesty Čertův mlýn—Martiňák, asi 1 km od Čertova mlýna na pravé straně, ze svahu exponovaného na západ, jehož sklon byl asi 5°, ve smrkové monokultuře, jejíž stáří bylo 40 až 80 let. Vzorek je z hloubky 3 až 5 cm. Byl zjištěn tento porost: *Dryopteris filix-mas* Schott., *Athyrium filix-femina* Roth. a *Hypnum cupressiforme* L.

Půda č. 5: Pochází z místa asi 25 m od Martiňáku směrem k Čertovu mlýnu z dutiny starého buku. Otvor do dutiny byl od země vzdálen asi 50 cm a byl exponován k západu.

Půda č. 6: Vzorek byl brán asi 40 m od cesty Čertův mlýn—Martiňák, asi 1,8 km od Čertova mlýnu, na svahu exponovaném na východovýchodosever, sklon 0 až 5°, v bukovém lese, jehož stáří bylo 50 až 150 let z úžlabiny v hloubce 5 až 20 cm. Byl zjištěn tento porost: *Rubus idaeus* L., *Rubus fruticosus* L., *Oxalis acetosella* L., *Galeopsis speciosa* Mill., *Hieracium pilosella* L., *Dryopteris filix-mas* Schott., *Athyrium filix-femina* Roth., *Hypnum cupressiforme* L., *Dicranum scoparium* L. a *Vaccinium myrtillus* L.

Půda č. 7: Vzorek byl brán asi 50 m od cesty Čertův mlýn—Martiňák, asi 1 km od Čertova mlýna na levé straně, ze straně exponované na východ se sklonem 5° v bukovém lese, jehož stáří

bylo asi 50 až 80 let, ojediněle se vyskytovaly smrky ve stáří 60 až 100 let. Vzorek byl z hloubky 2 až 3 cm. Byl zjištěn tento porost: semenáčky *Fagus sylvatica* L., dále *Polytrichum commune* L. a *Dryopteris filix-mas* Schott.

Půda č. 8: Vzorek byl brán z místa asi 2 km nad chodníkem Pustevny—Kněhyně, asi 2 km od Pusteven, ze svahu exponovaného k severu, sklon asi 30° ve smrkovém lese, jehož stáří bylo 60 až 100 let s řídcí se vyskytujícími buky. Vzorek byl z hloubky 0 až 4 cm. Byl zjištěn tento porost: *Polytrichum commune* L., *Polytrichum attenuatum* L., *Deschampsia flexuosa* Trin. a *Dryopteris filix-mas* Schott.

Půda č. 9: Vzorek byl brán z místa asi 50 m od cesty Pustevny—Martiňák, ze svahu exponovaného na jih se sklonem 10 až 15°, asi 1 km od Pusteven. Vzorek byl z hloubky 0 až 4 cm. Byl zjištěn tento porost: *Nardus stricta* L., *Deschampsia flexuosa* Trin., *Agrostis tenuis* Sibth., *Sieglingia decumbens* Bernh., *Vaccinium myrtillus* L. a *Hypericum perforatum* Schur.

Půda č. 10: Vzorek byl brán z místa asi 250 m od Radegasta směrem k Radhošti, asi 7 m nalevo od cesty, ze svahu exponovaného na jihozápad se sklonem asi 15°, z hloubky 0 až 5 cm. Byl zjištěn tento porost: *Sieglingia decumbens* Bernh., *Nardus stricta* L. a *Vaccinium myrtillus* L.

Půda č. 11: Vzorek byl brán ze stejného místa jako vzorek půdy č. 4., avšak z hloubky 6 až 12 cm.

Půda č. 12: Vzorek byl brán z místa nalevo od cesty Martiňák—Čertův mlýn asi 1 km od Martiňáku, ze svahu exponovaného na jih, ve smrkovém lese, jehož stáří bylo 20 až 50 let, u dekomponovaného smrkového pařezu, z hloubky 0 až 6 cm. Byl zjištěn tento porost: *Dryopteris filix-mas* Schott. a *Athyrium filix-femina* Roth.

Půda č. 13: Pochází ze svahu asi 100 m pod Pustevnou, exponovaného na jihovýchod, se sklonem asi 45°, ze smíšeného smrkobukového lesa s převládající smrkovou kulturou, z hloubky 3 až 7 cm. Byl zjištěn tento porost: ojedinělé mechy, na slunných místech *Vaccinium myrtillus* L.

Půda č. 14: Vzorek byl brán asi 150 m od lanovky směrem k silnici Pustevny—Frenštát, asi 200 m od budov směrem na jihozápad, ze svahu exponovaného na západ v bukovém lese, stáří kultury 30 až 50 let, ze silně slunného místa. Hloubka vzorku byla 0 až 6 cm. Byl zjištěn tento porost: semenáčky *Acer pseudoplatanus* L., *Oxalis acetosella* L., *Dryopteris filix-mas* Schott., *Athyrium filix-femina* Roth.

Půda č. 15: Vzorek byl brán z téhož místa jako půda č. 9, avšak z hloubky 4 až 14 cm.

Půda č. 16: Vzorek byl brán z místa nad silnicí Pustevny—Frenštát, asi 800 m od Pusteven, ze svahu exponovaného na sever, sklon asi 35°, v řídkém bukovém lese, jehož stáří bylo 30 až 60 let s ojediněle se vyskytujícími mladými smrčky. Vzorek byl z hloubky 0 až 6 cm. Byl zjištěn tento porost: *Scirpus sylvaticus* L., *Dryopteris filix-mas* Schott., *Athyrium filix-femina* Roth., *Rubus idaeus* L., *Rubus fruticosus* L., *Lysimachia nemorum* L., *Calamagrostis arundinacea* Roth., *Vaccinium myrtillus* L., *Oxalis acetosella* L., *Stachys sylvatica* L., *Dicranum scoparium* L. a *Hypnum cressifolium* L.

Půda č. 17: Vzorek byl brán z místa asi 100 m pod silnicí Pustevny—Bečva, v místech, kde odbočuje cesta na Skalíkovou louku, ze svahu exponovaného na jihovýchod, pod sklonem 30° v bukovém lese, jehož stáří bylo 10 až 40 let s ojediněle se vyskytujícími smrkem a jedlí. Vzorek byl z hloubky 3 až 6 cm. Porost nebyl jinak žádný.

Půda č. 18: Vzorek pochází z téhož místa jako vzorek půdy č. 3, avšak z hloubky 6 až 15 cm.

Půda č. 19: Vzorek byl brán z místa asi 5 m pod chodníkem Pustevny—Kněhyně, asi 2 km od Pusteven, ze svahu exponovaného k severu, jehož sklon byl asi 30°, ve smrkovém lese, jehož stáří bylo 40 až 100 let. Vzorek byl z hloubky 4 až 8 cm. Byl zjištěn tento porost: *Athyrium filix-femina* Roth., *Dryopteris filix-mas* Schott., *Epilobium montanum* L., *Rubus idaeus* L., *Rubus fruticosus* L., *Vaccinium myrtillus* L. a *Oxalis acetosella* L.

Půda č. 20: Vzorek byl brán z téhož místa jako vzorek půdy č. 7, avšak z hloubky 3 až 10 cm.

Půda č. 21: Vzorek byl brán z téhož místa jako vzorek půdy č. 17, avšak z hloubky 8 až 16 cm.

Z jednotlivých vzorků půd jsme připravili jemnozem (síto 2 mm). U typických vzorků jsme stanovili mechanický rozbor a u všech pokusných zemín pak obsah humusu běžnými pedologickými metodami (K o p e c k ý 1929; K l i k a, N o v á k a obsluhacovníci 1941, 1954). Abychom mohli zjistit vliv organické hmoty v půdě na rychlost pohyblivosti a výdeje veškeré kapilární vody v půdě, použili jsme metody vysychacích křivek podle P e n k y (1955). Této metody jsme použili proto, že je rychlejší a jednodušší než zmíněné metody G r a d m a n n a (1929) a S e k e r y (1932) a také proto, že výsledné křivky jsou názornější.

Jemnozem jednotlivých půd na vzduchu vyschlou (18 °C ± 2 °C) jsme vpravili do skleněných válečků. Výška válečků byla 2,5 cm, průměr 3,0 cm. Horní okraj válečků byl zbroušen tak, aby výška byla po celém obvodu stejná. Spodní okraj válečků byl ohnut směrem dovnitř tak, aby unesl kolečka filtračního papíru, které zastávalo dno válečku. Po opatrném naplnění válečků

jemnozemi byly válečky syceny vodou na maximální kapilární vodní kapacitu podle Nováka (1941). Pak byly válečky zváženy a dány k vysychání do sušárny při teplotě 45 °C, kde byly ponechány 24 až 26 hodin a každou hodinu pravidelně váženy. Po skončení vysychání byla stanovena sušina u každého vzorku (105 °C do konstantní váhy). Hodinové úbytky půdní vody, které vznikly vysycháním, jsme vztahovali jednak na sušinu jemnozeme (vysychací křivky půdní vlhkosti) a jednak maximální kapilární vodní kapacitu (vysychací křivky obsahu půdní vody). Tyto hodnoty jsme vynášeli graficky a tak jsme získali vysychací křivky pro každý vzorek půdy.

Při odebrání vzorků půd v terénu a při stanovování vysychacích křivek zemín technicky spolupracovali někteří členové kolektivu ústavu pro fyziologii rostlin přírodovědecké fakulty university v Brně, jimž za porozumění děkujeme.

III. Výsledky pokusů.

Průměrné hodnoty mechanického rozboru půd jsou uvedeny v tab. 1. V tab. 2. jsou seřazeny pokusné zeminy podle množství humusu. Použijeme-li Novákovy klasifikace půd (Klika, Novák a spolupracovníci 1941), můžeme si všechny pokusné zeminy rozdělit do tří skupin, a to humusové zeminy hlinité, které obsahují 20 až 40% jílu a nad 20% humusu (vzorky půd č. 1. až 6.), humusové zeminy písčité, které obsahují pod 20% jílu a nad 20% humusu (vzorky půd č. 7. až 16.) a lehké písčité zeminy, které mají pod 10% jílu a pod 20% humusu (vzorky půd č. 17. až 21.).

Tabulka 1.

Mechanický rozbor pokusných vzorků půd.

- I. = jílnaté částice pod 0,015 mm v %.
- II. = prach 0,015 až 0,048 mm v %.
- III. = práškový písek 0,048 až 0,09 mm v %.
- IV. = písek 0,09 až 2,0 mm v %.

Číslo vzorku půdy	I.	II.	III.	IV.
1	43,3	3,0	18,2	35,5
7	17,8	3,4	17,6	61,2
8	2,4	4,9	12,2	80,5
9	8,6	18,4	27,0	46,0
10	4,2	16,4	34,8	44,6
11	5,6	9,6	14,9	69,7
12	6,2	18,6	38,8	36,4
13	11,6	4,3	19,2	64,9
15	8,5	22,0	35,0	34,5
16	13,8	2,7	9,9	73,6
17	8,3	4,2	9,3	78,2
18	5,4	2,8	14,0	77,8
19	6,6	3,4	13,2	76,8
20	2,8	4,7	14,2	78,3
21	5,0	8,8	16,3	69,9

Tabulka 2.

Přehled obsahu humusu, maximální kapilární vodní kapacity podle N o v á k a a vah válečků se vzorky půd nasycených na maximální kapilární vodní kapacitu.

Číslo vzorku půdy	% humusu	Maximální kapilární vodní kapacita (vztaženo na sušinu) v ‰	Váha válečků s jemnozemi nasycenou na max. kapilární vodní kapacitu v g
1	84,2	360	18,08
2	80,5	330	16,56
3	79,2	264	18,42
4	75,0	247	19,27
5	69,0	325	15,39
6	47,9	173	18,91
7	41,3	139	20,59
8	41,2	66	23,18
9	38,7	69	27,26
10	36,1	141	23,65
11	35,2	101	23,60
12	28,1	171	23,58
13	25,5	179	21,70
14	21,0	103	20,21
15	21,0	92	26,56
16	20,3	78	26,66
17	18,3	83	24,91
18	16,8	68	26,72
19	14,7	48	25,32
20	11,9	79	27,03
21	11,8	46	29,35

V tab. 3. až 13. jsou uvedeny hodnoty, získané při vysychání vzorků půd (45 °C). V prvním sloupci je uvedena hodina vysychání půdního vzorku, ve sloupci druhém jsou procenta obsahu vody a ve sloupci třetím jsou procenta vlhkosti půdní vody. Při vyjadřování obsahu půdní vody byly hodinové úbytky vody vztahovány na maximální kapilární vodní kapacitu, která byla položena 100‰. Vlhkost byla vyjadřována hodinovými úbytky vody vztahovými na sušinu jemnozeme.

Tabulka 3.

Hodnoty získané při vysychání zemin č. 1. a 2. Ve sloupci 1 je hodina vysychání vzorků, ve sloupci 2 je obsah půdní vody v procentech (hodinové úbytky vody vztaženy na maximální kapilární vodní kapacitu, jež je rovna 100 %) a ve sloupci 3 je půdní vlhkost v procentech (hodinové úbytky vody vztaženy na sušinu jemnozeme, jež je rovna 100 %). Tak je tomu i u tabulky č. 4. až 13.

Vysychání jemnozeme číslo 1		
1	2	3
0	100	360
1	96	345
2	92	330
3	87	311
4	82	292
5	76	271
6	71	254
7	66	233
8	62	219
9	56	199
10	52	182
11	48	170
12	45	156
13	42	144
14	39	135
15	36	125
16	33	113
17	31	103
18	28	92
19	26	84
20	23	74
21	21	66
22	19	59
23	16	50
24	15	45

Vysychání jemnozeme číslo 2		
1	2	3
0	100	330
1	96	315
2	90	296
3	83	273
4	77	255
5	71	235
6	66	218
7	60	200
8	55	182
9	50	167
10	46	152
11	42	140
12	39	130
13	36	119
14	32	107
15	29	97
16	26	88
17	24	79
18	21	69
19	19	62
20	16	53
21	14	46
22	11	38
23	10	33
24	7	25

Tabulka 4.

Vysychání jemnozeme číslo 3		
1	2	3
0	100	264
1	94	249
2	88	233
3	82	216
4	76	202
5	70	184
6	64	169
7	58	154
8	53	139
9	49	125
10	43	113
11	39	104
12	35	91
13	32	84
14	29	76
15	26	67
16	23	60
17	20	54
18	18	47
19	15	40
20	13	34
21	11	30
22	9	24
23	7	19
24	6	16

Vysychání jemnozeme číslo 4		
1	2	3
0	100	247
1	96	238
2	92	227
3	87	216
4	82	202
5	77	194
6	72	178
7	67	166
8	62	153
9	58	142
10	53	130
11	48	117
12	43	107
13	40	98
14	37	92
15	33	82
16	31	77
17	28	67
18	26	65
19	25	61
20	22	51
21	19	48
22	17	44
23	15	23

Tabulka 5.

Vysychání jemnozeme číslo 5		
1	2	3
0	100	325
1	94	304
2	88	284
3	83	268
4	76	243
5	70	226
6	64	208
7	60	195
8	56	182
9	51	168
10	47	153
11	44	142
12	41	132
13	36	117
14	33	109
15	30	98
16	27	87
17	24	78
18	21	68
19	19	61
20	16	52
21	14	45
22	11	37
23	9	29
24	7	23
25	6	18

Vysychání jemnozeme číslo 6		
1	2	3
0	100	173
1	96	164
2	92	158
3	87	147
4	81	141
5	76	126
6	71	117
7	65	106
8	60	97
9	56	91
10	51	78
11	46	67
12	43	62
13	40	55
14	37	50
15	33	43
16	31	39
17	29	34
18	26	29
19	23	24
20	21	19
21	19	15
22	17	11
23	15	6

Tabulka 6.

Vysychání jemnozeme číslo 7		
1	2	3
0	100	139
1	96	134
2	89	127
3	86	120
4	81	112
5	76	106
6	72	100
7	67	93
8	62	79
9	57	79
10	52	73
11	49	69
12	45	63
13	41	57
14	39	54
15	35	50
16	33	46
17	31	43
18	29	40
19	26	37
20	24	33
21	22	31
22	20	28
23	18	26

Vysychání jemnozeme číslo 8		
1	2	3
0	100	66
1	96	63
2	90	59
3	83	56
4	79	52
5	74	49
6	70	45
7	63	42
8	59	38
9	53	35
10	47	31
11	42	27
12	36	24
13	32	21
14	28	18
15	24	16
16	21	13
17	18	12
18	15	10
19	13	8
20	10	6
21	8	5
22	6	4
23	5	3
24	3	2

Tabulka 7.

Vysychání jemnozeme číslo 9		
1	2	3
0	100	69
1	94	65
2	90	62
3	84	58
4	78	54
5	75	50
6	68	46
7	62	42
8	55	38
9	49	34
10	44	30
11	38	26
12	33	23
13	29	20
14	25	18
15	22	16
16	20	14
17	17	12
18	15	10
19	12	9
20	11	7
21	9	6
22	7	5
23	6	4
24	4	3
25	3	2

Vysychání jemnozeme číslo 10		
1	2	3
0	100	141
1	97	136
2	93	126
3	89	122
4	85	119
5	80	113
6	75	108
7	73	103
8	69	96
9	64	91
10	62	86
11	58	81
12	55	77
13	51	72
14	50	70
15	47	65
16	43	60
17	40	55
18	36	50
19	34	47
20	31	44
21	29	40
22	27	36
23	25	33
24	23	31

Tabulka 8.

Vysychání jemnozeme číslo 11		
1	2	3
0	100	101
1	97	97
2	89	90
3	87	88
4	82	82
5	77	78
6	73	74
7	67	67
8	63	63
9	58	58
10	53	54
11	49	49
12	45	45
13	39	40
14	34	34
15	30	30
16	27	27
17	23	23
18	20	20
19	17	17
20	15	15
21	10	10
22	8	8
23	7	5

Vysychání jemnozeme číslo 12		
1	2	3
0	100	171
1	98	167
2	93	162
3	89	151
4	84	149
5	80	140
6	76	134
7	71	126
8	68	121
9	63	114
10	60	108
11	54	100
12	51	94
13	46	88
14	43	82
15	38	79
16	34	68
17	30	62
18	26	56
19	23	52
20	20	47
21	18	42
22	15	38
23	12	23

Tabulka 9.

Vysychání jemnozeme číslo 13		
1	2	3
0	100	179
1	97	174
2	94	168
3	90	162
4	87	156
5	84	150
6	80	144
7	77	134
8	69	129
9	69	124
10	67	119
11	64	115
12	61	110
13	58	104
14	57	101
15	54	96
16	51	91
17	48	86
18	45	80
19	42	76
20	41	72
21	39	69
22	37	66
23	35	62
24	33	59
25	31	56
26	30	54

Vysychání jemnozeme číslo 14		
1	2	3
0	100	103
1	95	98
2	89	92
3	82	84
4	75	78
5	68	70
6	62	64
7	55	57
8	50	52
9	46	48
10	42	43
11	39	40
12	36	37
13	33	34
14	30	31
15	27	28
16	25	26
17	22	23
18	20	21
19	18	19
20	15	16
21	13	13
22	11	12
23	9	10
24	8	8

Tabulka 10.

Vysychání jemnozeme číslo 15		
1	2	3
0	100	92
1	96	88
2	90	83
3	85	78
4	79	73
5	74	68
6	69	63
7	64	58
8	58	53
9	53	48
10	48	44
11	43	39
12	38	35
13	33	30
14	30	27
15	27	25
16	24	22
17	21	19
18	19	17
19	16	15
20	14	13
21	12	11
22	11	9
23	9	8
24	7	7
25	6	5

Vysychání jemnozeme číslo 16		
1	2	3
0	100	78
1	96	75
2	91	71
3	86	67
4	80	63
5	74	58
6	68	53
7	62	48
8	56	44
9	51	40
10	45	35
11	39	31
12	34	27
13	30	24
14	26	21
15	23	19
16	21	17
17	18	15
18	15	13
19	13	11
20	11	9
21	9	8
22	7	6
23	6	4
24	4	3

Tabulka 11.

Vysychání jemnozeme číslo 17		
1	2	3
0	100	83
1	96	80
2	90	75
3	84	69
4	77	63
5	70	58
6	64	53
7	58	48
8	51	43
9	46	38
10	40	33
11	35	29
12	31	25
13	27	22
14	23	19
15	21	17
16	18	15
17	16	13
18	14	11
19	11	9
20	9	8
21	7	6
22	5	4
23	4	3
24	3	2

Vysychání jemnozeme číslo 18		
1	2	3
0	100	68
1	95	64
2	88	60
3	81	55
4	75	51
5	68	46
6	61	41
7	54	36
8	48	32
9	42	28
10	35	24
11	30	20
12	26	18
13	22	15
14	19	13
15	16	11
16	14	10
17	12	8
18	10	7
19	8	5
20	6	4
21	4	3
22	3	2
23	2	1
24	2	1

Tabulka 12.

Vysychání jemnozeme číslo 19		
1	2	3
0	100	48
1	95	46
2	89	42
3	82	39
4	75	34
5	69	33
6	63	31
7	55	27
8	49	24
9	42	21
10	37	18
11	31	15
12	22	13
13	21	11
14	20	10
15	17	9
16	15	8
17	12	6
18	10	5
19	8	4
20	6	3
21	4	3
22	3	2
23	2	2
24	2	1

Vysychání jemnozeme číslo 20		
1	2	3
0	100	79
1	96	76
2	86	68
3	83	65
4	81	64
5	78	60
6	71	56
7	66	52
8	61	48
9	56	44
10	51	40
11	46	36
12	42	33
13	37	29
14	33	26
15	29	22
16	24	19
17	21	16
18	19	14
19	16	12
20	15	11
21	12	9
22	11	8
23	9	6

Vysychání jemnozeme číslo 21		
1	2	3
0	100	46
1	94	42
2	87	40
3	81	38
4	75	34
5	66	30
6	59	27
7	51	24
8	45	21
9	39	18
10	32	15
11	26	12

Vysychání jemnozeme číslo 21 (pokračování)		
1	2	3
12	21	10
13	17	8
14	14	7
15	11	5
16	9	4
17	6	3
18	6	3
19	3	2
20	2	1
21	2	1
22	1	1
23	1	1

Na obr. 1. jsou znázorněny vysychací křivky půdní vlhkosti. Na obr. 2. jsou vysychací křivky obsahu půdní vody. Aby byly patrný rozdíly v kapacitě zemin a v délce i sklonu jednotlivých fází vysychacích křivek, byly ke grafickému znázornění použity vzorky půd s výrazně odlišným obsahem humusu, jakož i s odlišným mechanickým složením.

Srovnáváme-li všechny vysychací křivky, vyjadřující změny půdní vlhkosti (obr. 1.), je možno postřehnout, že největší vodní kapacitu vykazují vzorky půd, které byly zařazeny do skupiny humusových zemin hlinitých. Zeminy z této skupiny jsou charakterisovány značně velkou délkou první lineární a ohybové fáze. Také sklon těchto fází je značně příkrý, což svědčí o tom, že rychlost pohyblivosti a výdeje půdní vody je ve vztahu k sušině intenzivnější, zatím co ve vztahu k maximální kapilární vodní kapacitě je malá (viz obr. 2., zeminy č. 2. a 4.). Naproti tomu u půd zařazených do skupiny lehkých písčitých zemin je vodní kapacita velmi nízká. Prvá lineární a ohybová fáze je značně krátká a také jejich sklon je nepatrný. Tyto vlastnosti svědčí o tom, že rychlost pohyblivosti a výdeje půdní vody je ve vztahu k sušině velmi malá, kdežto ve vztahu k maximální kapilární vodní kapacitě značně intenzivní, jak je možno pozorovat na obr. 2. u zeminy č. 21. Vzorky půd, zařazené do skupiny humusových zemin písčitých, se vyznačují dosti dlouhou první lineární fází a neúměrně kratší fází ohybovou. Maximální kapilární vodní kapacita odpovídá hodno-

tám ležícím v rozmezí humusových zemin hlinitých a lehkých zemin písčitých.

Z tab. 3. až 13. je také patrné, že o maximální vodní kapilární kapacitě a rychlosti pohyblivosti a výdeje půdní vody nerozhoduje jen množství jílovitých substancí a organické hmoty, nýbrž i struktura těchto frakcí. Jsou-li srovnávány kvantitativní a kvalitativní vlastnosti humusu (organická hmota) v půdě, lze pozorovat, že je jinak vodní režim půd pozměňován přítomným humusem, který je hrubý, nerozložený a jinak humusem, který je rozložený a vyloužený, i když jeho množství v půdě je téměř stejné (viz tab. 1. a 2. zeminy č. 1. a 2., nebo č. 7. a 8. anebo 20. a 21.).

Na obr. 3. je schematicky znázorněna vysychací křivka zeminy č. 4., u níž je vyznačena prvá lineární fáze (I), ohybová fáze (II), druhá lineární fáze (III), zpomalení růstu (A), zastavení růstu (B), a bod vadnutí (C). S hlediska pedologického i fyziologického jsou tyto charakteristiky vodního režimu půd typické pro všechny půdy a jsou závislé na struktuře půdních substancí a na kvantitativních a kvalitativních vlastnostech přítomného humusu.

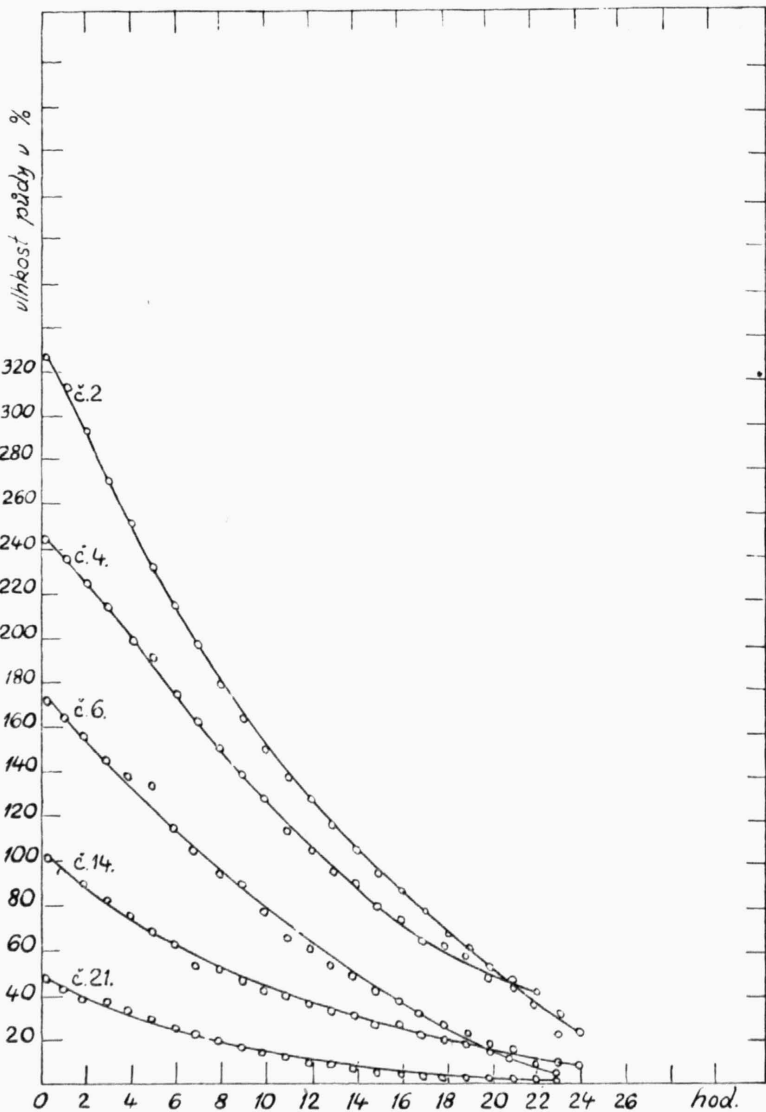
Zajímavé je i srovnání porostu, který byl na pokusných půdách zjištěn (viz kapitolu „Materiál a metoda“). Je nesporné, že výskyt porostu vedle klimatických a meteorologických a jiných podmínek závisí do značné míry právě na vodním režimu těchto půd. Svědčí o tom porost na půdě č. 1. a 2., č. 4. a 6., č. 9. a 10. a zejména na půdě č. 16. a 17. a č. 18. a 19.

IV. Diskuse.

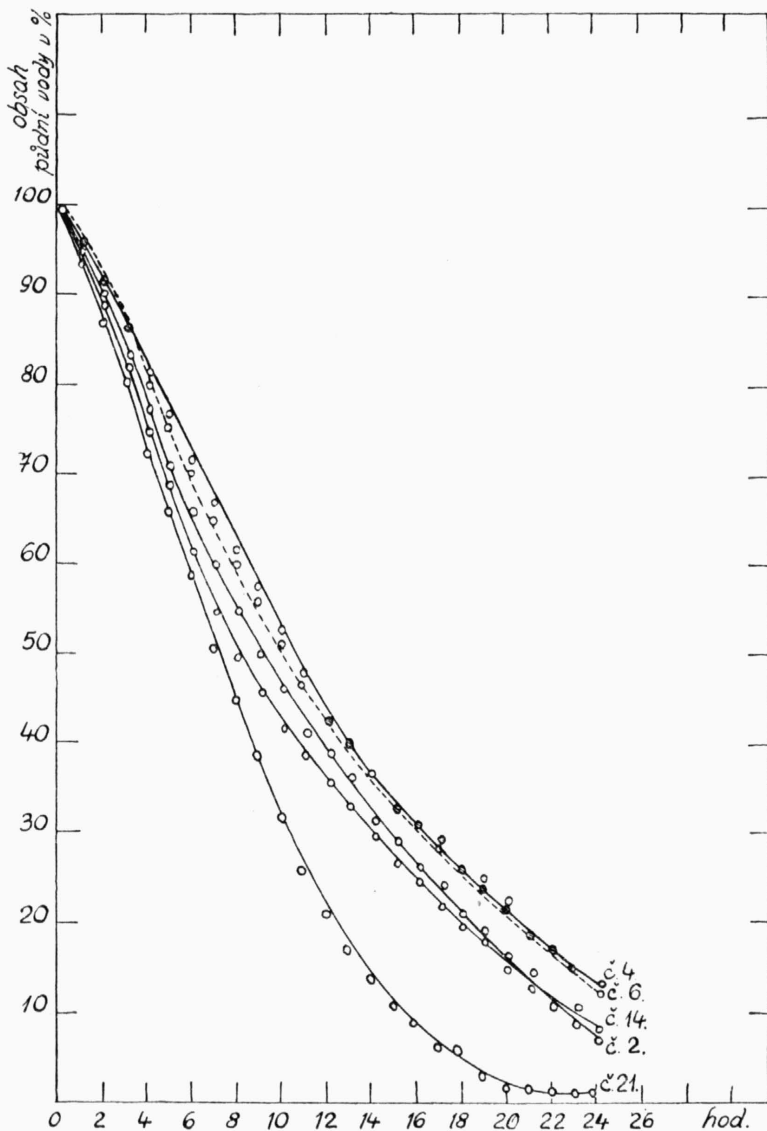
V mnoha pracích bylo dokázáno, že pro život rostlin je z fyziologicky přístupné vody v půdě nejdůležitější voda kapilární (Gradmann 1929; Vageler a Alten 1931; Sekera 1932; Novák 1945/46 a j.). Z veškeré kapilární vody v půdě je rostlinami nejrychleji a nejsnadněji čerpána snadno pohyblivá voda kapilární, zatím co těžko pohyblivá obalová voda kapilární může být rostlinami využita jen v omezené míře (Briggs a Shantz 1912; Novák 1945/46; Dolgov 1948; Penka 1955 a j.). Na vysychacích křivkách zemin je snadno pohyblivá voda kapilární představována prvou lineární fází (část příkře probíhající) a těžko pohyblivá obalová voda kapilární je zastoupena ohybovou fází (část, v které prudce poklesá rychlost pohyblivosti půdní vody), jak je možno pozorovat na obr. 3.

Z těchto důvodů je důležité hodnocení prvé lineární a ohybové fáze vysychacích křivek, které udávají kvantitativní a kvalitativní změny kapilární vody v půdě při vysychání. Všeobecně je známo, že vysoký obsah písčitých částic v půdě (0,09 až 2,0 mm) zvyšuje intenzitu výdeje i pohyblivosti kapilární vody a snižuje vodní jímavost půd. Naproti tomu vysoký obsah jílovitých částic v půdě (pod 0,015 mm) snižuje intenzitu pohyblivosti a výdeje kapilární vody a zvyšuje vodní kapacitu půd. K těmto rozdílným vlastnostem obou druhů půd se přidružuje ještě odlišné zpomalení rychlosti pohyblivosti a výdeje půdní vody při klesajícím obsahu vody v půdě. Svědčí o tom přechody mezi prvou lineární a ohybovou fází a dále mezi ohybovou a druhou lineární fází vysychacích křivek zemin. U všech vysychacích křivek lze tyto přechody vymezit bodem, v kterém se rychlost pohyblivosti a výdeje půdní vody prudce snižuje (sklon křivky náhle poklesá). Pro všechny vysychací křivky půd jsou typické tři takové body, jež jsou na obr. 3. označeny písmeny A, B a C. Bod A přibližně odpovídá místu, v kterém přechází prvá lineární fáze ve fázi ohybovou, bod B téměř půli ohybovou fází a bod C vymezuje místo,

v kterém ohybová fáze přechází v druhou lineární fázi vysychacích křivek. Pro písčité a jílovité zeminy je vedle první lineární fáze charakteristická také ohybová fáze. První lineární fáze je u písčitých zemín vždy kratší než u zemín jílovitých. Naproti tomu ohybová fáze je vždy výrazně delší než u zemín jílovitých. Tyto vlastnosti vodního režimu způsobují, že první lineární fáze u zemín písčitých přechází ostrým ohybem hned v druhou lineární fázi, zatím co u zemín jílovitých rozmezí ohybové fáze je značně dlouhé a pozvolné. Proto také body A, B a C jsou u zemín písčitých těsně vedle sebe a u zemín jílovitých jsou od sebe značně vzdálené.



Obr. 1. Vysychací křivky půdní vlhkosti zeminy č. 2, 4, 6, 14 a 21. Na ose Y je nanášena půdní vlhkost v procentech, na ose X je nanášen čas v hodinách.



Obr. 2.: Vysychací křivky obsahu půdní vody u zemín č. 2, 4, 6, 14 a 21. Na ose Y je nanášen obsah půdní vody v procentech, na ose X je nanášen čas v hodinách.

Penka (1955) dokázal, že těmto bodům (A, B a C) při klesajícím obsahu vody v půdě odpovídají některé fyziologické charakteristiky vadnutí a růstu rostlin. Tak na př. bylo zjištěno, že klesne-li obsah vody v půdě až na hodnotu odpovídající bodu A, dostaví se u rostlin zpomalení růstu. Při snížení obsahu vody v půdě až na hodnotu B nastává úplné zastavení růstu rostlin a při snížení půdní vláhly až na hodnotu C se dostavuje trvalé vadnutí rostlin (koeficient vadnutí). Tyto charakteristiky vadnutí a růstu rostlin jsou důležité

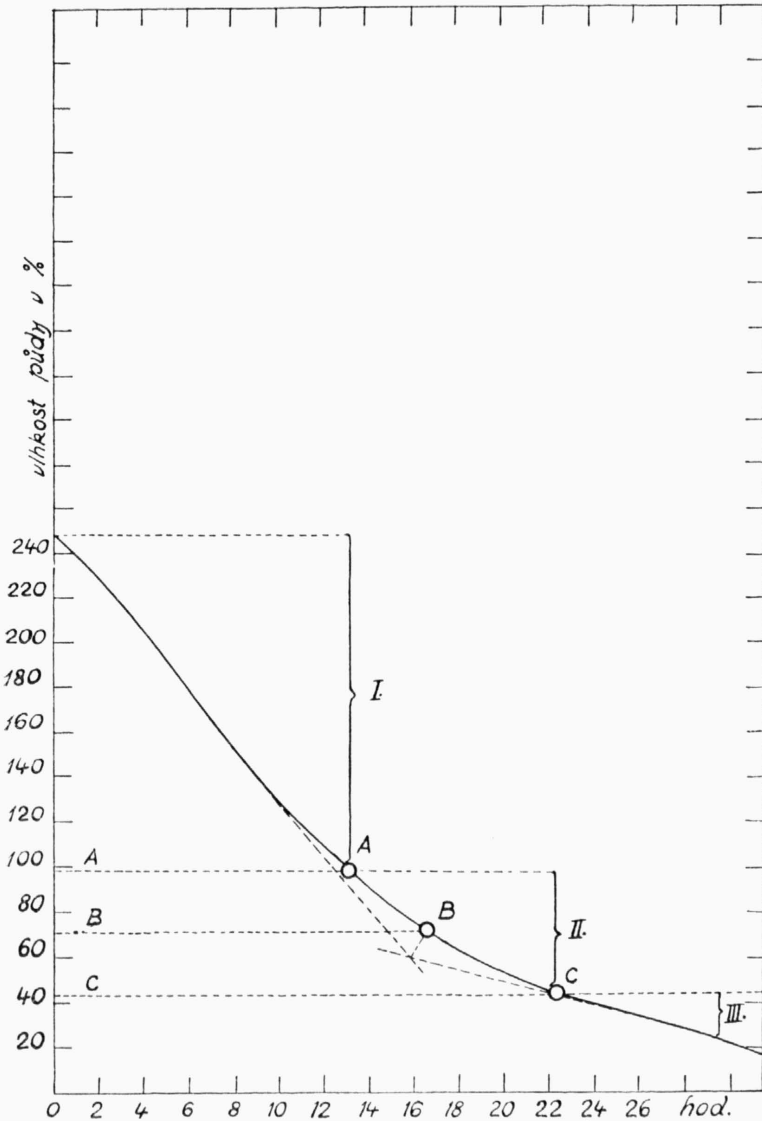
v zemědělské a pěstitelské praxi, protože při klesajícím obsahu vody v půdě je nelze u rostlin na této půdě se vyvíjejících makroskopicky zjistit. Zpomalení růstu (A), zastavení růstu (B) a trvalé vadnutí (C) předcházejí vždy snížení sklizně plodin.

Tímto způsobem si lze vysvětlit rozdílné vlastnosti vodního provozu písčitých a jílovitých půd při vysychání. Při klesajícím obsahu fyziologicky přístupné vody písčitých půd se dostavuje zpomalení růstu velmi brzy, protože prvá lineární fáze vysychacích křivek je velmi krátká; zastavení růstu i bod vadnutí se u těchto půd dostavuje téměř bezprostředně. U jílovitých půd za stejných podmínek nastává zpomalení růstu také velmi brzy, avšak zastavení růstu a bod vadnutí se dostavuje s dosti velkým odstupem, protože ohybová fáze vysychacích křivek je značně dlouhá. Je-li však sklon ohybové fáze vysychacích křivek jílovitých zemin velmi malý (vysoký obsah částic pod 0,015 mm), dostavuje se i u těchto půd zastavení růstu a bod vadnutí velmi brzy, protože rychlost pohyblivosti a výdeje těžko pohyblivé obalové vody kapilární je nepatrná (půdy suché, ač mají vysokou vodní jímavost).

Každá půda obsahuje určité množství organické hmoty — humusu. Přítomnost humusu pozměňuje do značné míry vodní režim půd. Půdy, bohaté humusem, se vyznačují vysokou vodní kapacitou, zejména vysokým obsahem kapilární vody. Jestliže rostliny mohou velmi snadno čerpat kapilární vodu, bylo by možno předpokládat, že zvýšený obsah humusu zlepší vždy vodní provoz půd. Avšak bylo na př. zjištěno, že stejné množství humusu v půdě nepozměňuje jednoznačně množství, jakož i rychlost pohyblivosti a výdeje kapilární vody v půdě. Svědčí o tom délka i sklon první lineární a zejména ohybové fáze vysychacích křivek ze vzorků půd č. 1. a 2., nebo 7. a 8. anebo 20. a 21. Sledují-li se získané hodnoty při vysychání těchto půd, je možno postřehnout, že čím více půda obsahuje organické hmoty, tím delší je první lineární a ohybová fáze (tím více má půda kapilární vody). Svědčí o tom délka těchto fází vysychacích křivek. Avšak rychlost pohyblivosti a výdeje vody těchto půd je značně rozdílná, jak je možno pozorovat na sklonu první lineární a ohybové fáze i na vzdálenosti bodů A, B a C, které lze na křivkách vymezit. Bylo-li přihlíženo k fyzikálnímu stavu humusu v půdě, bylo zjištěno, že je-li v půdě zastoupen humus ve formě hrubých zbytků tkání rostlinného nebo živočišného původu a je-li tato organická hmota málo rozložená, vynikají ve vodním režimu půd vlastnosti charakteristické jak pro půdy písčité tak i pro půdy jílovité (viz půdu č. 1. a 2., 20. a 21.). Hrubé zbytky tkání umožňují rychlý výdej kapilární (i prosakující) vody v půdě a prudký přechod první lineární fáze ve fázi ohybovou, která je vždy delší u zemin s vyšším obsahem jílovitých substancí. Naproti tomu úplně rozložený a vyloužený humus podmiňuje jímavost i rychlost výdeje půdní vody, charakteristickou jen pro půdy jílovité (viz půdu č. 1. a 2.).

Hrubý nerozložený humus zvyšuje u půd písčitých i jílovitých především množství snadno pohyblivé vody kapilární; první lineární fáze vysychacích křivek těchto zemin se prodlužuje, zatím co množství těžko pohyblivé obalové vody kapilární se příliš nepozměňuje. Podle sklonu první lineární a ohybové fáze lze usuzovat na kvalitativní vlastnosti mechanického složení jak humusu tak i ostatních substancí půdy. Je proto sklon vedle délky těchto fází vysychacích křivek důležitým znakem pro hodnocení vodního režimu půd v závislosti na jakosti humusu v půdě. Naproti tomu rozložený a vyloužený humus zvyšuje u písčitých a jílovitých půd především množství těžko pohyblivé

obalové vody kapilární. U těchto zemin se mění délka i sklon ohybové fáze, zatím co průběh první lineární fáze se výrazně nemění. Je možno upozornit na to, že čím více je humus rozložen, tím více se u jílovitých zemin zvyšuje vzdálenost mezi bodem B a C, kdežto u zemin písčitých se zvětšuje vzdálenost mezi bodem A a C, zejména vzdálenost mezi bodem A a B.



Obr. 3. Vysychací křivka zeminy č. 4. Na ose Y je nanášena půdní vlhkost v procentech, na ose X je nanášen čas v hodinách. I. první lineární fáze, II. ohybová fáze, III. druhá lineární fáze, A zpomalení růstu, B zastavení růstu a C bod vadnutí.

Všeobecně je možno říci, že bod A (zpomalení růstu) a bod B (zastavení růstu), jakož i bod C (koeficient vadnutí) se dostaví tím dříve, čím intenzivnější bude rychlost pohyblivosti a výdeje veškeré kapilární vody v půdě. Jako příklad je možno uvést vodní režim písčitých zemin. Avšak bod A, B a C se může dostavit také tím dříve, čím pomalejší bude rychlost pohyblivosti a výdeje kapilární vody v půdě, jak je tomu na př. u typických jílovitých zemin. Jestliže přítomný humus v půdě zvyšuje jen vlastnosti půd písčitých nebo jen vlastnosti půd jílovitých, pak jeho přítomnost nezlepšuje fyziologické vlastnosti vodního režimu půd. Svědčí o tom na př. vysoký obsah humusu pokusných přirozených lesních půd. (č. 1., 2., 3. a 4. anebo č. 18., 19., 20. a 21.).

Z těchto výsledků vyplývá, že fyziologicky nejvýhodnější bude taková půda, jejíž vysychací křivky zemin budou charakterisovány optimální délkou a sklonem prvé lineární a ohybové fáze, a tím i optimální vzdáleností bodů A, B a C. Těmto požadavkům nejlépe odpovídá půda s drobtovitou strukturou (Viljams 1940, 1950). Tato struktura půd je podmíněna přítomností takového humusu, který s patričným množstvím vápníku vytváří žádoucí cementaci půdních partikulí. Základní vlastnosti vodního režimu těchto půd byly hodnoceny pomocí vysychacích křivek v souborné práci o stanovení fyziologicky přístupné vody v půdě a o stanovení zpomalení a zastavení růstu rostlin, jakož i o bodu vadnutí (Penka 1955).

V závěru je možno říci, že s hlediska fyziologického je z půdní vody velmi důležitá voda kapilární, zvláště její snadno pohyblivá voda kapilární. Její množství (jímavost) a rychlost pohyblivosti závisí vedle mechanického složení a jiných půdních vlastností také na obsahu humusu v půdě. Pomocí vysychacích křivek lze dokázat, že kapacita i rychlost pohyblivosti a výdeje této půdní vody není podmíněna jen kvantitativními, nýbrž i kvalitativními vlastnostmi humusu v půdě. Svědčí o tom délka a sklon prvé lineární a ohybové fáze vysychacích křivek, jakož i vzdálenost bodů A, B a C, které odpovídají fyziologickým charakteristikám vadnutí a růstu rostlin, a to zpomalení růstu (A), zastavení růstu (B) a koeficientu vadnutí (C).

Souhrn.

Byla sledována použitelnost vysychacích křivek zemin při studiu vlivu humusu na vodní režim půd.

Bylo zjištěno, že s hlediska biologického nezávisí zlepšení vodního režimu půd jen na kvantitativních vlastnostech humusu v půdě, nýbrž i na jeho vlastnostech kvalitativních.

Kvantitativní i kvalitativní vlastnosti humusu lze hodnotit pomocí vysychacích křivek zemin ve vztahu ke zpomalení růstu, zastavení růstu a bodu vadnutí.

Tyto charakteristiky vadnutí a růstu rostlin jsou závislé na množství a intenzitě pohyblivosti a výdeje veškeré kapilární vody, zejména její snadno pohyblivé vody kapilární.

Dostavují se tím dříve, čím více půda obsahuje jílovitých anebo písčitých částic.

Velmi výrazně se pozměňují zvýšeným obsahem humusu v půdě.

Avšak o jejich výhodných změnách s hlediska fyziologického nerozhodují jen kvantitativní vlastnosti humusu v půdě, nýbrž především jeho vlastnosti kvalitativní, o čemž svědčí optimální délka i sklon první lineární a ohybové fáze vysychacích křivek zemín a vzdálenosti bodů A, B a C.

М. Пенка и М. Новачек:

Влияние количественных и качественных свойств гумуса на водной режим естественных почв.

В этой работе наблюдалось применение высыхающих кривых почв при изучении влияния гумуса на водной режим.

Установлено, что с биологической точки зрения улучшение водяного режима зависит не только на количественных свойствах гумуса в почве, но и на его качественных свойствах.

Количественные и качественные свойства гумуса мы оцениваем при помощи высыхающих кривых почв в связи с уменьшением роста, остановкой роста и точкой увядания.

Эти характеристики увядания и роста растений находятся в зависимости от множества и глубины подвижности а также расхода всей капиллярной воды, особенно ее очень подвижной воды капиллярной.

Наступают тем скорее, чем больше содержит почва илистых и песчаных частиц. Особенно наглядно изменяются увеличенным содержанием гумуса в почве.

Однако причиной всех этих выгодных с точки зрения физиологии явлений являются не количественные свойства гумуса в почве, но главным образом его свойства качественные, о чем свидетельствуют оптимальная длина и склон первой линейной и огибовой фазы высыхающих кривых почв и расстояние точек А, В и С.

М. Пенка and М. Новáček:

The influence of the quantitative and qualitative properties of humus on the Water conditions in natural soils.

An investigation was made of the possibilities of using the curve of soil desiccation in studying the influence of humus water conditions in various soils.

It was ascertained that from the biological standpoint the improvement of water conditions in soils does not depend on the quantitative properties of humus in the soil, but on its qualitative characteristics.

Both the quantitative and the qualitative properties of humus can be valued by means of curves of soil desiccation with relation to retardation of growth, stoppage growth, and the wilting point of plants.

The wilting and the growth of plants are dependent on the amount and the intensity of movement and the output of all capillary water, especially on its easily movable component.

The extent to which this condition prevails will depend on the degree to which the soil contains loam or arenaceous particles.

It increases very markedly with the increase of the humus content of the soil.

However, it is not the quantitative properties of humus in the soil, but above all its qualitative characteristics which are decisive in determining changes advantageous from the physiological point of view. This is indicated by the optimal length and inclination of the initial linear and curving phase of the soil desiccation curves and distance of the points A, B and C.

Literatura:

- Bogdanov S.: Otnošenie prorastajuščich semjan k počvennoj vode. Kijev 1889.
- Briggs L. J. and Shantz H. L.: The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. U. S. Departm. of Agriculture. Bur. Plant industry Bull., 230; 1912.
- Dolgov S. I.: Issledovanija podvižnosti počvenoj vlagi i ee dostupnosti dlja rastenij. Izd. AN SSSR, Moskva-Leningrad 1948.
- Gössl V.: Půda jako zásobitelka rostlin vodou. Min. zem., Praha 1940.
- Gradmann H.: Untersuchungen über die Wasserhältnisse des Bodens als Grundlage des Pflanzenwachstums. Jahrb. f. wiss. Bot. 69 u. 71 : 702; 1929.
- Klika J., Novák V. a spolupracovníci: Praktikum rostlinné sociologie. Praha 1941, další vydání Praha 1954.
- Kopecký J.: Bioklimatické úvahy ve vztahu k sytostnímu doplňku vlhkosti vzdušné. Praha 1916.
- Kopecký J.: Die Physikalischen Eigenschaften des Bodens. Berlin 1914, Praha 1929.
- Kostyčev P. A.: Počva i ee obrabotka. SPb., Moskva 1908.
- Lebedějev A. F.: Pered viženie vody v počvach i gruntach. Izv. Donsk., s.-ch in-ta t. z. Novočerkassk 1918.
- Lysenko T. D.: Agrobiologia, Moskva 1948.
- Maksimov N. A.: Fiziologičeskije osnovy zasuchoustojčivosti rastenij. Izbrannye raboty po zasuchoustojčivosti i zimostojkosti rastenij. I. Moskva 1952.
- Mayer A.: Über das Verhalten erdarter Gemische gegen das Wasser. Landwirtsch. Jahrbüch. 1874 : 753; 1874.
- Novák V.: Příspěvek k poznání t. zv. přístupné půdní vody v půdních typech na Moravě. Sbor. ČAZ 19; 1945—/46.
- Penka M.: Vliv vnějších podmínek na vodní provoz polních plodin v průběhu jejich individuálního vývoje. V tisku (Rozpravy ČSAV) 1955.
- Sachs J.: Bericht über die physiologische Tätigkeit an der Versuchstation in Tharand t. Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen. Vol. 1. 1859.
- Sekera F.: Die Nutzbarkeit des Bodenswasser für die Pflanze. Ztschr. Pflanzenern. Düng. u. Bodenk., Abt. A, 26, No 1; 1932.
- Sekera F.: Die Strukturalanalyse des Bodens. Bodenk. u. Pflanzenern. Bd. 6: 259, 1938 a.
- Sekera F.: Statik und Dynamik des Bodenwasser. Bodenk. u. Pflanzenern. Bd. 6: 288; 1938.
- Shull Ch. A.: Measurement of the surface in soil. Bot. Gaz. 62; 1; 1916.
- Šiškin A. K.: K voprosu ob umenšení vrednogo dejstvija zasuchi na rastitelnost. Moskva 1876.
- Vageler P. M. und Alten F.: Die Böden des Nil und Gash. I.-IV. Ztschr. f. Pflanzenern. 21 : 22; 1931.
- Viljams V. R.: Počvovedenie. Moskva 1940. Praha 1950.
- Widtsøe J. A.: The principles of irrigations practice. W. 1926.
- Zunker F.: Das Verhalten des Bodens zum Wasser. Hand. d. Bodenlehre. Bd. 6. 1930.