

Hydropedologické parametry a objemová hmotnost půd u variant dlouhodobých pokusů s rozdílnými způsoby zpracování půd.

Ing. Roman Honzík, Ing. Sergej Ust'ak, CSc., Ing. Milan Vach, CSc.

Anotace

Příspěvek je zaměřen na vliv různých způsobů obhospodařování půd v rámci dlouhodobých polních pokusů založených v roce 1995 na jejich objemovou hmotnost a hydrofyzikální charakteristiky. Způsoby obhospodařování půd se liší především intenzitou jejich obdělávání, způsobem setí plodin, využíváním rostlinných zbytků jako zdroje půdní organické hmoty a dávkami minerálního hnojení, především dusíku. Pro testování bylo zvoleno celkem 6 variant, a to 3 způsoby zpracování půdy (KZ – konvenční zpracování s orbou, ZS – minimální zpracování s mělkým zapravením slámy; BM – bez zpracování půdy a bez mulče, tj. bez zásahů) kombinované se dvěma dávkami hnojení dusíkem minimální N1 a trojnásobná N3. Bylo prokázáno, že cca 20-leté rozdílné zpracování a hnojení půd se významně odrazilo na rozdílech jednotlivých variant pokusu z hlediska hodnot hydropedologických parametrů a objemové hmotnosti půd, které jsou těsně provázány s transformací a akumulací půdních organických látek. Bylo stanoveno, že nejhorší hodnoty sledovaných parametrů z hlediska agronomické kvality půd byly u variant konvenčního zpracování půd s orbou. Např. maximální hodnoty objemové hmotnosti půd $1,77 \text{ g/cm}^3$ byly naměřeny u varianty KZ-N3 a minimální hodnoty využitelné vodní kapacity $0,0933 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ byly zjištěny u varianty KZ-N1. Naopak, nejpriznivější hodnoty byly zjištěny u půdoochranných variant zpracování půd. Např. nejnižší objemová redukovaná hmotnost půdy $1,62 \text{ g/cm}^3$ byla zjištěna u varianty ZS-N1 a maximální využitelná vodní kapacita $0,1337 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ byla stanovena u varianty BM-N1. Tím se prokázal příznivý vliv půdoochranných technologií na hydropedologické parametry a prokypření půd.

Klíčová slova: hydropedologické parametry; objemová hmotnost půd; dlouhodobé pokusy; způsoby zpracování půdy.

1. ÚVOD

Způsoby obhospodařování půd se v České republice liší především intenzitou obdělávání, způsobem setí plodin, využíváním rostlinných zbytků jako zdroje půdní organické hmoty a dávkami minerálního hnojení, především dusíku. Dnes se do popředí zájmu z hlediska agronomických, ekonomických a klimatických dostávají minimalizační technologie. V rámci výměry orné půdy v ČR (3 mil. ha) se minimalizační technologie využívají na cca 40 % celkové výměry orné půdy, tj. přibližně na 1,2 mil. ha. Z této výměry je pak pomocí půdoochranných technologií obhospodařováno cca 200 - 250 tis. ha, (minimalizační zpracování půdy s využitím organických hmot z posklizňových zbytků předplodin, nebo ze strniskových meziplodin). Proto byl v roce 1995 založen pokus zaměřený na sledování vlivu různých způsobů obhospodařování půd na jejich objemovou hmotnost a vybrané hydrofyzikální charakteristiky.

2. MATERIÁL A METODY

Pro testování vlivu zpracování půdy na objemovou hmotnost a vybrané hydropedologické charakteristiky bylo zvoleno celkem 6 variant, a to 3 způsoby zpracování půdy (KZ – konvenční zpracování s orbou, ZS – minimální zpracování s mělkým zapravením slámy; BM – bez zpracování půdy a bez mulče, tj. bez zásahů) kombinované se dvěma dávkami hnojení dusíkem minimální N1 a trojnásobná N3. Vzorky byly odebírány ze dvou odběrových hloubek 0 – 10 cm a 10 – 20 cm. Tyto vzorky byly odebírány do Kopeckého válečku a následně zjištěna jejich objemová hmotnost a objemová hmotnost redukovaná.

2.1. Objemová hmotnost

Je to hmotnost objemové jednotky půdy v neporušeném stavu, tj. s póry vyplněnými aktuálním obsahem vody a vzduchu. Její hodnota je závislá na měrné hmotnosti, na podílu pórů v půdě a míře jejich zaplnění vodou. Je to hodnota nestálá, která se mění během roku v závislosti na vlhkostních poměrech v půdě. Objemová hmotnost minerálních půd kolísá mezi $0,8 - 1,8 \text{ g.cm}^{-3}$, u organických půd většinou mezi $0,2 - 0,3 \text{ g.cm}^{-3}$.

Objemová hmotnost suché půdy (rd), (objemová hmotnost redukovaná) je hmotnost jednotkového objemu vysušené půdy. Je to hodnota stabilnější a ve vrchních vrstvách půdy se dosahuje hodnot $1,2 - 1,5 \text{ g.cm}^{-3}$. Tato hodnota indikuje kyprost nebo ulehlost půdy. V následujících Tab. 1 a 2 jsou uvedeny objemové hmotnosti půd a jejich interpretace dle Kutílka (1996) a Lhotského (1984).

Tab. 1 Strukturální stav humusového horizontu u středně těžkých a těžkých půd (Kutílek, 1996)

Strukturální stav humusového horizontu	Objemová hmotnost půdy (g.cm^{-3})	Pórovitost (%)
Výborný	< 1,2	> 54
Dobrá	1,2 – 1,4	46 – 54
Nevyhovující	1,4 – 1,6	39 – 46
Nestrukturní	1,6 – 1,8	31 – 39

Tab. 2 Kritické objemové hmotnosti po vysušení (Lhotský, 1984)

Půdní druh	J	JV, JH	H	PH	HP	P
rd kritické (g.cm ⁻³)	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70

2.2. Hydropedologické charakteristiky

Retence vody v půdě je výsledkem přitažlivých sil mezi pevnou a kapalnou fází, tyto síly umožňují půdě zadržet vodu navzdory gravitaci, výparu a čerpání kořeny rostlin Bajtes (1996).

Retenční křivka půdní vlhkosti

Je charakteristikou hodnocenou ve vzorcích půd odebraných z parcel s rozdílným způsobem obhospodařování, která byla získána vložím odebraných neporušených půdních vzorku v Kopeckého válečcích pomocí pískového tanku a přetlakového přístroje s keramickou membránou. Naměřené hodnoty byly využity pro stanovení retenční křivky $\theta_{(h)}$, pomocí van Genuchtenovy (1980) rovnice, která poskytuje dobrou shodu se získanými experimentálními hodnotami. Graf byl vyjádřen pomocí logaritmické osy potenciálu jako pF-křivka. Také byla provedena její interpretace pomocí vybraných hydropedologických charakteristik takzvaných hydrolimitů.

Půdní hydrolimity

Hydrolimit obecně je určitá objemová půdní vlhkost zjištěná pomocí přesně definované a smluvené metodiky. Většina hydrolimitů není přesně fyzikálně definována, u nás se však v pedologické praxi hojně využívají, neboť je toto, stanovení levnější a rychlejší než měření kompletní retenční čáry. Zde jsou uvedeny některé hydrolimity odečtené z retenční křivky půdní vlhkosti, které byly interpretovány ze zjištěných údajů.

Plná vodní kapacita (PVK) = maximální vodní kapacita = nasycená vlhkost (θ_s): je vlhkost půdy při úplném zaplnění všech pórů vodou uvádí se, že je tato hodnota prakticky rovna pórovitosti. Většinou však zůstává v části pórů uzavřen vzduch, proto je tedy ve skutečnosti nižší než pórovitost.

Polní kapacita půdy (PKP): vlhkost půdy, kterou půda udrží po zalití a infiltraci do profilu. V terénu nikdy nelze dosáhnout rovnovážného stavu, jde o dynamický proces, proto je její určení velmi přibližné. Pro ČR je polní vodní kapacita definována obsahem vody ve vzorku stanoveným při tlaku od 10 do 50 kPa což je vyjádřeno v logaritmické stupnici pF od 2,00 do 2,70. Polní kapacita definuje maximální vlhkost, která zůstává v půdě dva nebo tři dny poté, co byla půda zavlažena při zanedbatelném odtoku. Tento údaj je závislý na vlastnostech půdního profilu, jako je hydraulický gradient, rozvrstvení půdního profilu, hystereze, bobtnání a smršťování nebo přítomnost nepropustné vrstvy či vysoká hladina podzemní vody, proto nelze obecně definovat hodnotu potenciálu pro tuto vlhkost. Pro výpočty a odhady je důležité asociovat polní vodní kapacitu vždy s hodnotou pF nebo hodnotou sacího tlaku v kPa.

Bod vadnutí (BV): Bývá uváděn jako spodní limit dostupnosti vody pro většinu rostlin. Je to vlhkost půdy, při které rostlina trvale vadne, absorpce vody kořeny je menší než transpirace a vadnutí nepřestává ani po vložení rostlin do atmosféry nasycené vodní parou. Skutečný bod trvalého vadnutí závisí na mnoha faktorech, meteorologických vlivech, osmotickém tlaku půdního roztoku, druhu rostliny a jejím vegetačním stadiu a mnoha dalších. Stanovuje se vegetačně nádobovými pokusy nebo technickou metodou podle Váši (1960).

Dohodou byl bod vadnutí stanoven jako vlhkost při pF = 4,18, což odpovídá sacímu tlaku -1500 kPa (tedy tlakové výšce -15291 cm) či relativní tenzi par 0,98 na desorpční větvi adsorpční izotermy. Tuto hodnotu stanovili Richards a Weaver (1943) srovnáváním bodu trvalého vadnutí slunečnice roční (*Helianthus annuus*, L.) a vlhkosti dosažené v přetlakovém přístroji s keramickou membránou.

Využitelná vodní kapacita (VVK)

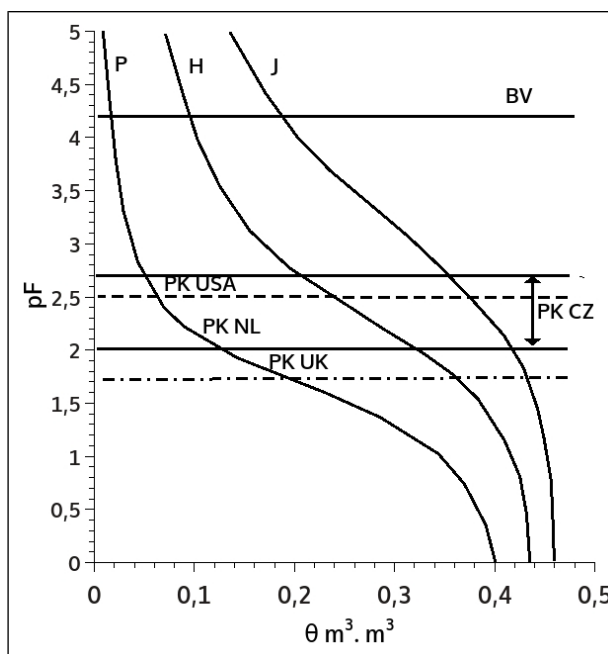
Množství vody, které se udrží v půdě po delší dobu a které je rostlinami využitelné, se nazývá využitelná vodní kapacita, (VVK). Vypočte se jako rozdíl polní kapacity (PK) a bodu vadnutí (BV).

Hranice vody využitelné rostlinami v půdním profilu sahá od povrchu půdy po konec kořenové zóny. Hloubka kořenů je však různá pro různé rostliny a v období vegetačního růstu se mění. Dále jsou skutečné hranice využitelné vodní kapacity ovlivňovány heterogenitou a rozvrstvením profilu a pohybem hladiny podzemní vody.

Hydrolimity polní kapacita a bod vadnutí jsou v různých zemích definovány odlišně, přesto se využitelná vodní kapacita používá ve studiích deficitu půdní vláhy a intervalů zavlažování, agro-ekologického členění a stanovení potenciálu zemědělské produkce stejně tak jako v simulaci globálních změn krajiny vlivem ekonomických faktorů nebo změnou podnebí. Běžně používané intervaly pro definování využitelné vodní kapacity jsou např. pF 2,00 – 4,18 v Nizozemí, pF 2,52 – 4,18 v USA a pF 1,70 – 4,18 ve Velké Británii Batjes (1996). Tab. 3 a Obr. 1 ukazují rozdíl v definování polní kapacity v České republice (PK CZ), Nizozemí (PK NL), USA (PK USA) a Velké Británii (PK UK).

Tab 3. Polní kapacita (PK) a bod vadnutí (BV) v různých vyjádřeních potenciálu půdní vody (Miháliková, 2011 upraveno)

hydrolimit	stát	log h [pF]	sací tlak [bar]	sací tlak [kPa]	tlaková výška [cm H ₂ O]
PK	Velká Británie	1,70	0,05	5	50
	Nizozemí	2,00	0,10	10	100
	USA	2,52	0,33	33	330
	ČR	2,00 - 2,70	0,10 - 0,50	10 - 50	100 - 500
BV	Svět	4,18	15	1500	15000



Obr 1. Schématická reprezentace hydrolimitů polní kapacity (PK) a bodu vadnutí (BV) na retenční čáře písčité (P), hlinité (H) a jílovité (J) půdy (Miháliková, 2011 upraveno)

3. VÝSLEDKY A HODNOCENÍ

V následující Tab. 3 jsou uvedeny redukované objemové hmotnosti zjištěné u analyzovaných vzorků z parcel s různým způsobem obdělávání, dvou odběrových hloubek a dvou úrovní hnojení dusíkem.

Tab. 3 Objemová redukovaná hmotnost v g.cm⁻³ u analyzovaných vzorků půd

Sonda odběru	Objemová hm. red. [g.cm ⁻³]	
	Hloubka odběru 0-10 cm	Hloubka odběru 10-20 cm
KZ-N1	1,64	1,67
KZ-N3	1,65	1,77
BM-N1	1,65	1,77
BM-N3	1,64	1,71
ZS-N1	1,62	1,72
ZS-N3	1,76	1,76

Poznámky: dvě odebrané hloubky (0-10, 10-20 cm), dvě úrovně dusíkatého hnojení (N1, N3) a tři způsoby obdělávání: konvenční obdělávání včetně orby (KZ), zpracování minimalizační technologií (BM), minimalizace včetně mulčování (ZS)

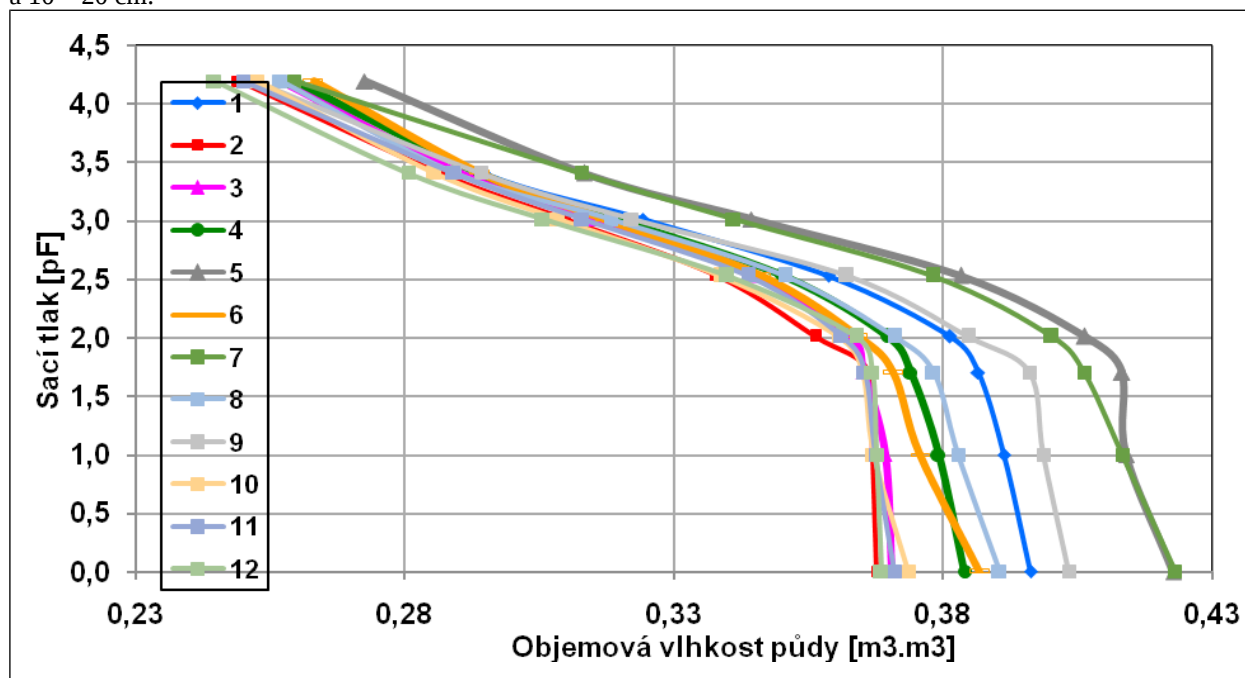
Objemové hmotnosti redukované se u analyzovaných vzorků pohybovaly v rozmezí od 1,62 do 1,77 g/cm³. Nejnižší objemová hmotnost půdy 1,62 g/cm³ byla zjištěna u vzorku odebraného z parcely obdělávané minimalizační technologií s mulčem z odběrové hloubky 0-10 cm hnojeného dávkou dusíku N1. Maximální objemová hmotnost 1,77 g/cm³ byla zjištěna u vzorku z parcely obdělávané konvenčně včetně orby v odběrové hloubce 10-20 cm hnojené dávkou dusíku N3. Z hlediska struktury Tab. 1 bylo možno zařadit odebrané vzorky jako nestrukturní až nevyhovující. Podle údajů z Tab. 2, byly veškeré půdy zařazeny jako půdy s kritickou objemovou hmotností. Jejich redukovaná objemová hmotnost dosahovala vždy hodnot vyšších než uváděných 1,40 g/cm³ vysušeného vzorku pro jílovito-hlinité půdy.

Objemová hmotnost vlhké půdy (objemová hmotnost neredukovaná) je závislá na půdní vlhkosti a není tedy konstantní hodnotou. Mění se v průběhu roku jako pórovitost v důsledku bobtnání a smršťování půdy při změnách vlhkosti. Desetileté výsledky (1986 - 1995) vykazují zhoršení půdních poměrů v ornici – hodnoty objemové hmotnosti nad 1,6 g.cm⁻³ jsou častější. Za kritické hodnoty objemové hmotnosti lze považovat hodnoty vyšší než 1,4 -1,6 g.cm⁻³. Vyšší

hodnoty jsou platné pro lehké půdy (Miština - Kováč a kol., 1993).

Redukované zpracování půdy zvyšuje z počátku objemové hmotnosti. K zamezení překročení limitních hodnot přispívá zvyšování obsahu organických látek dodávaných do půdy (posklizňové zbytky, mulč, organické hnojení). Při dlouhodobém užívání půdoochranných technologií se hodnoty objemové hmotnosti zlepšují tvorbou makropórů tvořených odumřelými kořeny rostlin a kanálky po činnosti žížal Sprague - Triplett, (1986). Další výzkumné práce Šimon – Lhotský (1989); Neudert - Kostelanský (1998) uvádí, že proces zhuňování půdy má progresivní tendenci s ohledem na mezní hodnoty podle Lhotského. Z výzkumů vyplývá, že měrná hmotnost půdy se s hloubkou zvětšuje plynuleji u půdoochranných technologií. West a Post (2002) uvádějí, že k dosažení maximálního obsahu uhlíku v půdě dochází pátým až desátým rokem od přechodu na bezorebný systém a rovnovážný stav nastává 15 až 20 let po změně způsobu hospodaření. U orby dochází k prudkému nárůstu v místě dna orební brázdy. V součtu celého profilu vychází příznivější hodnoty měrné hmotnosti půdy u bezorebných technologií Stach a kol., (2000); Raus (2000); Horáček a kol. (2001); Horsch, (1990).

Pro odebrané vzorky půd jsou v následujícím Obr. 2 zobrazeny vlhkostní retenční křivky pro vybrané varianty hnojení minimální N1 a trojnásobná N3, způsoby obdělávání (KZ – konvenční zpracování s orbou, ZS – minimální zpracování s mělkým zapravením slámy; BM – bez zpracování půdy a bez mulče, tj. bez zásahů) a dvě odběrové hloubky 0-10 cm a 10 – 20 cm.



Obr. 2 Retenční křivky vlhkosti pro dvě odebrané hloubky (0-10, 10-20 cm), dvě úrovně dusíkatého hnojení (N1, N3) a tři způsoby obdělávání (KZ, BM, ZS)

Tab. 4 Naměřené hodnoty pro konstrukci vlhkostní retenční křivky využitě k odvození vybraných hydrolimitů

Sonda odběru	KZ-N1		KZ-N3		BM-N1		BM-N3		ZS-N1		ZS-N3	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Hl. odběru [cm]												
Sací tlak [pF]	Objemová vlhkost [m³.m³]											
0,00	0,3963	0,3677	0,3704	0,3840	0,4228	0,3869	0,4230	0,3905	0,4034	0,3736	0,3710	0,3685
1,00	0,3914	0,3668	0,3692	0,3791	0,4140	0,3757	0,4133	0,3828	0,3987	0,3671	0,3674	0,3677
1,70	0,3865	0,3662	0,3652	0,3739	0,4132	0,3708	0,4062	0,3782	0,3961	0,3651	0,3655	0,3669
2,01	0,3813	0,3564	0,3628	0,3696	0,4063	0,3642	0,4002	0,3710	0,3847	0,3606	0,3612	0,3639
2,53	0,3587	0,3380	0,3451	0,3504	0,3833	0,3462	0,3780	0,3507	0,3621	0,3386	0,3438	0,3399
3,01	0,3242	0,3098	0,3156	0,3194	0,3444	0,3171	0,3411	0,3183	0,3222	0,3085	0,3130	0,3057
3,41	0,2947	0,2865	0,2904	0,2939	0,3133	0,2941	0,3128	0,2894	0,2942	0,2856	0,2891	0,2808
4,19	0,2597	0,2492	0,2571	0,2595	0,2725	0,2632	0,2595	0,2570	0,2520	0,2528	0,2500	0,2447

Poznámky: dvě odebrané hloubky (0-10, 10-20 cm), dvě úrovně dusíkatého hnojení (N1, N3) a tři způsoby obdělávání: konvenční obdělávání včetně orby (KZ), zpracování minimalizační technologií (BM), minimalizace včetně mulčování (ZS)

Z výše uvedené Tab. 4 je možné odvodit některé obvykle v hydopedologické praxi používané hydrolimity jako je plná vodní kapacita (PVK) (θ_s), polní kapacita půdy (PKP), využitelná vodní kapacita (VVK) a bod vadnutí (BV).

Prvním z hydrolimitů je plná vodní kapacita (θ_s) ta se při sacím tlaku pF 0 pohybuje v rozpětí od 0,3677 do 0,4230 m³ vody na m³ půdy. Maximum plné vodní kapacity 0,4230 m³ vody na m³ půdy, bylo zjištěno ve vzorku odebraném z plochy obdělávané minimalizačním zpracováním půdy z varianty hnojené trojnásobnou dávkou dusíku z odběrové hloubky 0-10 cm. Minimum plné vodní kapacity 0,3677 m³ vody na m³ půdy jsme naměřily na vzorku z varianty obdělávané konvenčním způsobem včetně orby ve hloubce 10 -20 cm hnojené jednoduchou dávkou dusíkatého hnojení. Další z hydrolimitů je možné získat výpočtem jako rozdíl polní kapacity (PK) a bodu vadnutí (BV) definuje využitelnou vodní kapacitu (VVK) v analyzovaných vzorcích při sacím tlaku pF 2,01 až 2,53 (10 až 40 kPa), se pohybují v rozsahu od 0,0933 do 0,1337 m³ vody na m³ půdy. Minimum 0,0933 m³m⁻³ bylo zjištěno ve vzorku z parcely obdělávané konvenčním způsobem včetně orby na parcele hnojené dávkou dusíku N1 v odběrové hloubce 10 až 20 cm. Maximální využitelná vodní kapacita 0,1337 m³m⁻³ pak byla zjištěna ve vzorku obdělávaném minimalizačními zásahy hnojené dávkou dusíku N1 v odběrové hloubce 0-10 cm.

Posledním údajem zjištěným z vlhkostní retenční křivky je bod vadnutí (BV), který se považuje za spodní limit dostupnosti vody pro většinu rostlin. Je to vlhkost půdy, při které rostlina trvale vadne, absorpce vody kořeny je menší než transpirace a vadnutí nepřestává ani po vložení rostlin do atmosféry nasycené vodní parou. Hodnoty bodu vadnutí u analyzovaných vzorků půdy byly zjištěny v rozsahu při sacím tlaku pF 4,19 (1505,0 kPa), od 0,2447 do 0,2725 m³ vody na m³ půdy, přičemž minimum obsahu vody 0,2447 m³ vody na m³ půdy bylo zjištěno ve vzorku obdělávaném minimalizační technologií s mulčováním v odběrové hloubce 10 až 20 cm hnojené dávkou dusíku N3. Maximum 0,2725 m³ vody na m³ půdy bylo zjištěno ve vzorku odebraném z parcely obdělávané minimalizační technologií v odběrové hloubce 0-10 cm hnojené dávkou dusíku N1.

Závěrečné shrnutí:

Porovnáním naměřené redukované objemové hmotnosti jsme zjistily, že nejvyšší naměřená objemová hmotnost 1,77 g/cm³ byla zjištěna na půdě obdělávané konvenčně s orbou, podobně tomu bylo i u maximální vodní kapacity kdy byla nejnižší hodnota 0,3677 m³ vody na m³ půdy rovněž naměřena na parcelách obdělávaných konvenčním způsobem. Obdobné výsledky byly zjištěny i u využitelné vodní kapacity, kdy nevyšší obsah vody na m³ půdy 0,0933 byl rovněž obdělávané konvenčním způsobem včetně orby na parcele hnojené dávkou dusíku N1 v odběrové hloubce 10 až 20 cm. Nejlepších výsledků z hlediska objemové hmotnosti a vybraných hydrolimitů dosahovaly půdy obdělávané minimalizační technologií. Maximum plné vodní kapacity 0,4230 m³ vody na m³ půdy, bylo zjištěno ve vzorku odebraném z plochy obdělávané minimalizačním zpracováním půdy z varianty hnojené trojnásobnou dávkou dusíku z odběrové hloubky 0-10 cm. Nejnižší objemová hmotnost půdy 1,62 g/cm³ byla zjištěna u vzorku odebraného z parcely obdělávané minimalizační technologií s mulčem z odběrové hloubky 0-10 cm hnojeného dávkou dusíku N1. Lze tedy konstatovat, že z hlediska objemové hmotnosti a vybraných hydrolimitů dosahují půdy obdělávané minimalizačními technologiemi lepších parametrů než půdy obdělávané klasicky orbou.

Poděkování

Tento příspěvek byl realizován za finanční podpory projektu MŠMT č. LH 13276 a projektu MZe ČR č. RO 01415.

Literatura

- Batjes, N. H. (1996): Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. *Geoderma*. 71(1-2). 31-52.
- Hillel, D. (1998): *Environmental Soil Physics*. Academic Press, New York, USA, 771 p.
- Horáček a kol., 2002, In: Hůla, J. a kol. (2002): Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací.
- Horsch, D. (1990): Reduzierte Bodenbearbeitung, angepasste Saattechnik und Unkrautbekämpfung nach dem System Horsch. *Integrierter Landbau*, BLV Verlagsges, München: 273 – 281,.
- Hůla, J., Procházková, B. (2002): Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. *Zemědělské informace*. Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací, 104 s.
- Hůla, J., Procházková, B. a kol. (2008): *Minimalizace zpracování půdy*. Praha, Vydavatelství Profi Press,.
- Miháliková, M. (2011): *Pedotransferové funkce pro odhad hydrofyzikálních vlastností půd*. Praha, Disertační práce.
- Kováč, K. a kol. (2003): *Všeobecná rostlinná výroba*. Nitra, SPU v Nitre,
- Kutílek, M., Kuráž, V. (1993): *Hydropedologie*. 1. vyd. Praha: ČVUT, ISBN 80-010-0956-4.
- Kutílek M. (1978): *Vodohospodářská pedologie*. SNTL, Praha, 295 p.
- Lhotský, J. a kol. (1984): *Soustava opatření k zúrodnování zhutněných půd*. Metodika ÚVTIZ, Praha, 39 p.
- Mišťina, T. a kol. (1993): *Ochranné obrábání půdy*. Piešťany, VÚRV
- Neudert, L.–Kostelanský, F., 1998 In: Hůla, J., Procházková, B. a kol. (2002): Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. Praha, Ústav zemědělských a potravinářských informací,
- Sprague, M.A., Triplett, G.B., 1986, In: Hůla, J., Procházková, B. a kol.(2008): *Minimalizace zpracování půdy*. Praha, Vydavatelství Profi Press,
- Stach, J. a kol. (2000): *Závěrečná zpráva dílčího resortního výzkumného projektu EP 7228 NAZV*.
- Šimon, J., Lhotský, J. a kol. (1989): *Zpracování a zúrodnování půd*. SZN, Praha: 320
- Raus, A. (2000): *Vliv půdoochranného zpracování půdy na vybrané fyzikální chemické a biologické vlastnosti kambizemě*. Disertační práce.
- Richards, L.A., Weaver, L.R. (1943): *Fifteen-Atmosphere Percentage As Related To the Permanent Wilting Percentage*. *Soil Science*. 56(5). 331-339.

- van Genuchten, M.T. (1980): A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science Society of America Journal. 44(5). 892-898.
- Váša, J. (1960): Půdní vláhové charakteristiky. Vodohospodársky časopis SAV. VIII (3). 235-243.
- West, T. O., Post, W. M. (2002): Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. Soil Sci. Soc. of America Journal, 66: 1930-1946.