

*Realizační výstup řešení dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace RO1715
financovaného MŠMT ČR*

Řešitelská organizace:

Zemědělský výzkum, spol. s r. o. Troubsko

Uplatněná certifikovaná metodika

Metodika 34/2016

**SLEDOVÁNÍ PŮDNÍCH VLASTNOSTÍ
PŘI PROTIEROZNÍ OCHRANĚ PŮDY A PŘI APLIKACI DIGESTÁTU**

Autorský kolektiv:

Ing. Barbora Badalíková, Ing. Jaroslava Novotná, Ph.D.

Metodika byla schválena MZe ČR, osvědčení č. 73245/2016-MZE-17221

© Zemědělský výzkum, spol. s r. o., 2016

1. vydání

Obsah

Úvod	4
I. Cíl metodiky	6
II. Vlastní popis metodiky	6
1. Materiál a metody	6
1.1 Charakteristika stanovišť	6
1.2 Metodika pokusů	7
III. Výsledky	10
1. Pokus I – Vodní eroze	10
1.1. Fyzikální vlastnosti půdy	10
1.2. Sledování půdní eroze	13
1.3. Chemické vlastnosti půdy	17
2. Pokus II – Aplikace digestátu	18
2.1. Fyzikální vlastnosti půdy	19
2.2. Chemické vlastnosti půdy	22
2.3. Výnosy plodin	23
IV. Závěr	24
V. Srovnání novosti postupů	26
VI. Popis uplatnění certifikované metodiky	26
VII. Ekonomické vyhodnocení	26
VIII. Seznam použité související literatury	27
IX. Seznam publikací předcházejících metodice	28
X. Dedikace, jména oponentů	30
Přílohy – fotodokumentace	31

Úvod

Půda ke své produkční schopnosti využívá jako zdroj energie v průběhu svého metabolismu organické látky, které se však liší svou kvalitou. Jedním z důležitých ukazatelů funkce organických látek v půdě je jejich míra rozložitelnosti vlivem mikrobiologických pochodů, přičemž dochází k humifikaci a tvorbě humusu různých typů a složení. Za optimální lze považovat udržování množství humusu na jeho přirozené ekologické hladině ve formě živného, neutrálního humusu, který má příznivé účinky na půdní úrodnost všech typů a druhů půdy (Pokorný, Stráalková, Denešová, 1998). Jako náhradu odčerpání živin pěstovanými plodinami dodáváme do půdy živiny také ve formě minerálních hnojiv. Je možno říci, že jeden z rozvoje civilizace je právě používání průmyslových hnojiv, jejichž zásluhou je produkce potravin v naší části světa na vysoké úrovni. Nelze se však nezmínit o negativní stránce věci, kdy nadměrné hnojení v touze po vysokých výnosech a tím ziscích vede nejen k poruchám půdního prostředí, ale i k poškození celé biosféry. Jedním z hlavních problémů je proto stanovení optimální dávky dodávaných živin (Pokorný, Denešová, 1998). A tento problém se týká i digestátu.

Jako jedna z možností dodání živin do půdy se aplikuje odpad z bioplynových stanic, tzv. biokal nebo-li digestát. Digestátem je nazýván odpad čili zbytek po fermentačním procesu při výrobě bioplynu v bioplynových stanicích. Na rozdělení digestátu se dá nahlížet z různých pohledů, např. podle vstupních surovin, podle způsobu použití nebo jaký má obsah sušiny (Marada a kol., 2008). Podle obsahu vstupních surovin dělíme digestáty do tří skupin: DG1 - vstupními surovinami jsou jen statková hnojiva a materiály rostlinného původu, DG2 - jedním ze vstupních surovin jsou odpady (ČOV), DG3 - jednou ze vstupních surovin jsou vedlejší produkty živočišného původu (kafilérie). V praktickém využití hraje toto rozlišení důležitou roli při registraci digestátu jako hnojiva v ÚKZÚZ.

Otázkou definice digestátu je, zda jde o hnojivo organické či minerální. Podle zákona je digestát definován jako typové organické hnojivo (Lošák, 2010). Protože má převahu látek organických, dá se digestát považovat za hnojivo organické. Organické hnojivo je ale definováno jako rozložitelná organická hmota, která je schopna dostatečně rychlé mineralizace. Mineralizace je proces, který uvolňuje energii - je to vlastně pomalé spalování. přitom organické, rostlinám nepřístupné živiny jsou konvertovány na živiny minerální, tedy rostlinám přístupné. Mineralizace je v půdě uskutečňována půdními mikroorganismy, které z ní získávají energii, množí se a mikrobiální aktivita takové organicky hnojené půdy stoupá. Tento aktivní mikrobiální život v půdě je zárukou, že organická hmota v půdě pouze

nemineralizuje, ale menší část se transformuje zcela jiným procesem, humifikací. Vzniká humus a jeho složky. Proces na rozdíl od mineralizace spotřebovává energii (Kolář a kol., 2010). Podle Klíra (2009) se zařazuje digestát z bioplynových stanic mezi organická hnojiva, která mohou do jisté míry nahradit produkci statkových hnojiv, kterých značně ubývá. Z organických hnojiv jsou také používány různé komposty. V procesu digesce se odbourávají labilní organické látky z 50 i více %, čímž rovněž klesá sušina digestátů, která se zpravidla pohybuje mezi 2-8 %. Svými vlastnostmi a účinky je možno považovat digestát spíše za kombinované hnojivo minerální, jehož složení je výrazně ovlivněno vstupními surovinami (jejich množství a složení) a procesem digesce (Lošák, 2010).

Co se týče sledování vodní eroze, je důležité zajistit pravidelnost dodávání organické hmoty do půdy, která kladně ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy a strukturotvornost ornice, zvyšuje infiltrační a retenční schopnost půdy a má tedy velký vliv na náchylnost půdy k erozi. Brown a Cotton (2011) zjistili, že organická hmota např. ve formě kompostu má, ve srovnání s kontrolou, trojnásobný nárůst obsahu půdního organického uhlíku, a že dochází ke zdvojnásobení mikrobiální aktivity v půdě. Jak udává Fullen a kol. (2006) už obsah organické hmoty v půdě pod 2% velmi významně zvyšuje riziko eroze. Nedostatek organické hmoty v půdě také vede postupně k její degradaci, jak uvádí Javůrek a Vach (2008). Neméně důležitou protierozní ochranou je ochrana povrchu půdy meziplodinami tedy vegetačním pokryvem. Při dlouhodobějším využívání meziplodin v osevních postupech lze očekávat příznivý vliv na výnosy hlavních plodin a na půdní strukturu (Vach a kol., 2005). Mnoha autory byla zjištěna přímá spojitost mezi erozí a hospodařením na půdě (Zhang a kol., 2009). Autoři zjistili, že půdoochranné technologie zpracování půdy snižují riziko eroze až o 63% oproti konvenčnímu zpracování půdy. Je tedy podstatné, aby se v rámci pěstování kukuřice na svahu dodržovaly zásady půdoochranných, protierozních technologií. Z hlediska zpracování půdy je nejdůležitější při pěstování kukuřice udržení dobré půdní struktury, která nám zaručuje ochranu před vodní erozí (Marko, 1996). To platí i při pěstování dalších širokořádkových plodin.

Tato metodika je návodem pro správné hospodaření ve vybrané výrobní oblasti s využitím půdoochranných technologií při pěstování širokořádkových kultur na svahu a současně hodnotí půdní vlastnosti při využívání digestátu jako hnojiva.

I. Cíl metodiky

Cílem metodiky je seznámit zemědělskou praxi s výsledky hodnocení protierozních opatření při pěstování kukuřice na svahu a co možná nejvíce eliminovat ztrátu půdy a živin z povrchové vrstvy. Metodika je také zaměřena na výsledky půdních vlastností při využívání digestátu jako hnojiva pro výživu rostlin v rámci sledování fyzikálních a chemických změn v půdě. Při nadměrném hnojení digestátem a při nevhodných půdních podmínkách může docházet k nevratnému utužení (zhuštění) půdy. Výsledky uvedené v této metodice jsou návodem na udržitelnost a produktivitu zemědělské činnosti a zachování kvalitní a zdravé půdy.

II. Vlastní popis metodiky

1. Materiál a metody

1.1. Charakteristika stanoviště

Půdní a klimatické podmínky

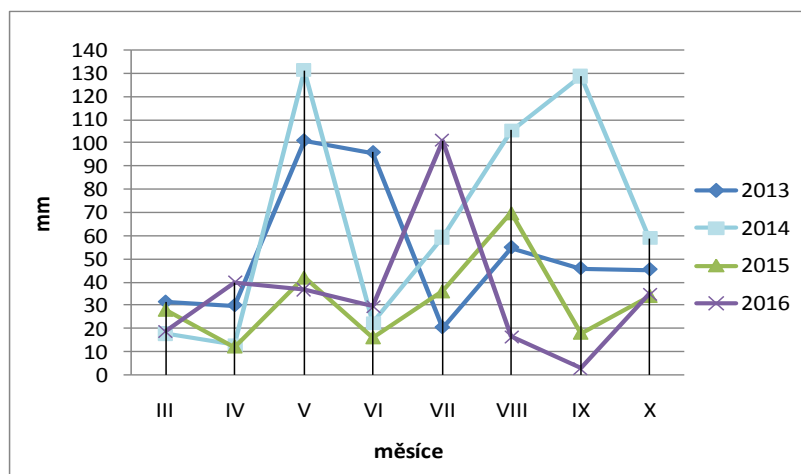
Hodnocení poloprovozního pokusu probíhalo v bramborářské výrobní oblasti od roku 2013 do roku 2016 v oblasti Vysočiny na pozemcích ZD Budišov. Nadmořská výška pozemků cca 513 m, dlouhodobý úhrn srážek 500 mm, z toho za vegetační období v průměru 395 mm, dlouhodobá průměrná roční teplota 6,8 °C.

Stanoviště pokusu I – pokusné pozemky se nacházely vždy na svažitém terénu mezi 5° – 7°. Půdy na těchto pozemcích byly zařazeny jako kambizem, půdy zrnitostně lehké, hlinitopísčité, s hloubkou ornice 0,20 – 0,25 m.

Stanoviště pokusu II – pokusný pozemek na tomto stanovišti byl zařazen opět mezi kambizemě, obsahoval však více jílnatých částic, proto byl zrnitostně zařazen do písčitohlinitých půd, s hloubkou ornice 0,25 – 0,30 m.

Průběh dešťových srážek během vegetace březen – říjen za sledované období 2013 – 2016 je uveden v grafu 1.

Graf 1: Množství srážek během vegetace v letech 2013 – 2016, Budišov



1.2 Metodika pokusů

Pokus I – Eroze

Pokusné pozemky se měnily každým rokem podle zařazení kukuřice na siláž. Vždy na podzim zde byly založeny 3 varianty s meziplodinami a 1 varianta kontrolní bez meziplodiny. Pokus I byl sledován v letech 2013 – 2016.

Varianty

Varianta 1 – podmínka, předseťová příprava, setí nevymrzající meziplodiny žito svatojánské-trsnaté (*Secale cereale* L. var. *multicaule* METZG. ex ALEF.) na jaře desikace, předseťová příprava, setí kukuřice

Varianta 2 – podmínka, předseťová příprava, setí nevymrzající meziplodiny žito svatojánské-trsnaté, na jaře desikace, přímé setí kukuřice do zaschlého mulče

Varianta 3 – podmínka po sklizené předplodině, předseťová příprava, setí vymrzající meziplodiny lnička drobnolistá (*Camelina microcarpa* L.), od roku 2014 lnička setá (*Camelina sativa* L.), na jaře přímé setí kukuřice do vymrzlé předplodiny

Varianta 4 – kontrola – klasické zpracování půdy - podmínka, střední orba, na jaře předseťová příprava, setí kukuřice

Pokus II – Digestát

Pokusný pozemek s řešením aplikace digestátu se nacházel přímo u zemědělského družstva a v průběhu řešení se neměnil. Druhý pokus byl sledován v letech 2014 – 2016. Digestát používaný v tomto pokusu je zařazen do skupiny DG1 (statková hnojiva a materiál rostlinného původu). Osevní sled plodin ve sledovaných letech byl: kukuřice na siláž, pšenice ozimá, pšenice ozimá. Na pokusném pozemku byly založeny tři varianty, a sice:

Varianty

Varianta 1 – kontrola bez digestátu, klasická příprava

Varianta 2 – 1 dávka digestátu - 1x 20 t/ha na jaře, střední orba

Varianta 3 – 2 dávky digestátu - 1x 20 t/ha na jaře, 1x 20 t/ha na podzim, střední orba

Složení digestátu v % sušiny používaném na poloprovozním pokuse je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1: Složení digestátu v % suš.

pH	8,9
Spal. látky	90,21
Dusík	5,47
Fosfor	1,18
Draslík	1,53
Hořčík	0,71
Vápník	1,1

Metody hodnocení půdních vlastností

Fyzikální vlastnosti půdy byly sledovány pomocí Kopeckého válečků a zahrnuje tato stanovení: objemovou hmotnost redukovanou, celkovou pórovitost, momentální obsah vody a vzduchu, maximální kapilární vodní kapacitu a minimální vzdušnou kapacitu. Měrná hmotnost byla stanovena pyknometrickou metodou. Půdní vzorky na stanovení fyzikálních vlastností půdy byly odebírány uprostřed vegetačního období, vždy ze třech hloubek 0-0,10, 0,10-0,20 a 0,20-0,30 m.

Penetrometrický odpor půdy – půdy byl měřen mechanickým penetrometrem v pěti opakováních. Měření je založeno na zjišťování síly nutné k zatlačení normovaného ocelového kužele do půdy. Jeho výhodou je vysoká expeditivnost a možnost okamžitého vyhodnocení výsledků pro sledovaný profil.

Struktura půdy byla stanovena prosíváním suché zeminy na sítích o průměrných otvorech 0,25; 0,5; 2; 5; 10; 20 mm. Vzorky byly odebírány uprostřed vegetačního období ze dvou hloubek, a sice 0-0,15 a 0,15-0,30 m ve třech opakováních. Každá strukturní frakce byla samostatně zvážena a přepočtena na procenta. Pro vlastní hodnocení byl vypočítán koeficient strukturnosti, který vyjadřuje vztah mezi agronomicky hodnotnými (0,25-10 mm) a méně hodnotnými strukturními elementy (>10 a <0,25 mm).

Vzorky půdy pro stanovení vodostálosti půdních agregátů byly odebírány každý rok vždy na jaře na začátku vegetačního období a na konci vegetačního období. Odběr byl proveden vždy ze dvou hloubek 0-0,15 a 0,15-0,30 m. Vodostálost půdních agregátů byla zjišťována metodou mokrého prosévání (Kandeler, 1996). Byl stanoven procentický podíl nerozplavených agregátů z celkové navážky vzorku podle daného vzorce. Obsah vody (hmotnostní %) v půdě byl zjišťován gravimetrickou metodou z hloubek 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 a 0,20-0,30 m.

Půdní vzorky na chemické analýzy pro zjištění základního obsahu živin v půdě byly odebírány ze dvou hloubek: 0-0,15 a 0,15-0,30 m. Vzorky byly odebírány současně se vzorky pro stanovení obsahu humusu uprostřed vegetačního období. Výměnná půdní reakce pH byla stanovena z výluhu KCl potenciometricky, obsah přístupného fosforu, draslíku a hořčíku byl stanoven na spektrofotometru metodou podle Melicha III (vyjádřeno v mg na 1 kg půdy) a obsah celkového dusíku mineralizací, destilační metodou podle Kjedahla (vyjádřen v %). Celkový obsah organického uhlíku (Cox) byl stanoven oxidometrickou titrací podle Nelson a Sommers (1982). Vynásobením Cox koeficientem 1,724 zjistíme obsah humusu.

Kvalita humusu byla hodnocena pouze u pokusu II. Humusové látky (HL) byly extrahovány směsí 0,1M Na₄P₂O₇ a 0,1M NaOH (Kononová, Bělčíková; 1963). Pro určení kvality humusu byl zjištěn poměr huminových kyselin k fulvokyselinám z tabelární závislosti na barevném koeficientu Q4/6 podle absorbance v UV-VIS oblasti spektra.

Sledování vodní eroze půdy (pouze u pokusu I) – bylo zjišťováno záchytnými kapsami (o šířce 1 m) speciálně upravenými pro zadržení smyté půdy s možností volného odtoku vody. Do vnitřní části kapsy byla vložena hustá netkaná textilie, do které byla zachycována smytá půda, voda odtékala průtočnými otvory v zadní části kapsy. Zachycený obsah splavenin se odebral, vysušil, zvážil a přepočtl na množství smyté půdy na jednotku plochy. Ze smyté půdy byl chemickou analýzou zjištěn obsah živin, pH a obsah humusu.

III. Výsledky

Pokus I – eroze

1.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Vzhledem k tomu, že nebyly zjištěny výrazné rozdíly u fyzikálních vlastností půdy mezi zasetými mezipločinami byly hodnoceny fyzikální vlastnosti půdy pouze u varianty s mezipločinami a u kontrolní varianty bez mezipločiny. Avšak jak ukazují tabulky 2 – 5 rozdíly v jednotlivých letech mezi variantou s mezipločinou a kontrolní jsou evidentní. Objemová hmotnost redukovaná (O_{Hr}) v roce 2013 je nižší u varianty s mezipločinou než u varianty kontrolní (tab. 2). Tomu odpovídá i pórovitost, která je v průměru vyšší u varianty s mezipločinou. Maximální kapilární kapacita (MKK) je o málo nižší vzhledem k vyšší pórovitosti a minimální vzdušné kapacitě (MVK). Zřejmě kvůli kořenovému systému mezipločiny byla vyšší provzdušněnost půdy a tím nižší nasycenost půdy (momentální obsah obj. vody). Svůj podíl na tom má i půdní druh hlinitopísčité na tomto stanovišti. Přesto jsou zde fyzikální vlastnosti půdy v normě u obou variant. U žádné varianty nedošlo k překročení kritické hodnoty O_{Hr} dle Lhotského (1984), která je u těchto půd 1,60 g.cm⁻³.

Tab. 2: Fyzikální vlastnosti půdy - Budišov 2013

varianta	Hloubka půdy (m)	Objemová hmotnost red. (g.cm ⁻³)	Celková pórovitost (%)	Momentální obsah		Max.kapilár. kapacita	Min.vzduš. kapacita
				vody	vzduchu		
				%obj.			
mezipločina	0 - 0,1	1,40	49,94	18,20	31,74	34,32	15,62
	0,1 - 0,2	1,45	48,06	18,09	29,97	32,59	15,48
	0,2 - 0,3	1,43	48,76	17,75	31,02	33,17	15,59
	0 - 0,3	1,43	48,92	18,01	30,91	33,36	15,56
kontrola	0 - 0,1	1,50	46,49	22,40	24,09	34,16	12,33
	0,1 - 0,2	1,41	49,59	22,54	27,05	35,39	14,20
	0,2 - 0,3	1,47	47,58	21,81	25,77	34,31	13,27
	0 - 0,3	1,46	47,89	22,25	25,64	34,62	13,27

V tab. 3 jsou vyhodnoceny fyzikální vlastnosti půdy v roce 2014. I zde byly zjištěny nižší hodnoty O_{Hr} u varianty s mezipločinou oproti variantě kontrolní a vyšší hodnoty pórovitosti. MKK u varianty s mezipločinou byla o málo vyšší oproti variantě kontrolní, což mohlo být v důsledku vyššího úhrnu srážek v tomto roce. Díky vyplnění pórů vodou byla naměřena nižší provzdušněnost u varianty s mezipločinou.

Tab. 3: Fyzikální vlastnosti půdy - Budišov 2014

varianta	Hloubka půdy (m)	Objemová hmotnost red. (g.cm ⁻³)	Celková pórovitost (%)	Momentální obsah		Max.kapilár. kapacita	Min.vzduš. kapacita
				vody	vzduchu		
				%obj.		%obj.	
meziplodina	0 - 0,1	1,32	52,77	22,75	30,02	37,06	15,71
	0,1 - 0,2	1,42	47,38	21,16	26,21	31,13	16,25
	0,2 - 0,3	1,45	46,29	21,92	24,37	33,67	12,62
	0 - 0,3	1,40	48,81	21,94	26,87	33,95	14,86
kontrola	0 - 0,1	1,42	47,38	21,16	26,21	31,13	16,25
	0,1 - 0,2	1,45	46,29	21,92	24,37	33,67	12,62
	0,2 - 0,3	1,40	48,81	19,81	29,00	32,25	16,56
	0 - 0,3	1,42	47,49	20,96	26,53	32,35	15,14

Fyzikální vlastnosti půdy v roce 2015 jsou vyhodnoceny v tab. 4. I zde je u varianty s meziplodinou o málo nižší OHr než u varianty kontrolní. Tomu odpovídaly i další fyzikální vlastnosti. Provzdušněnost byla vyšší u varianty s meziplodinou na úkor nižšího objemu vody v půdě.

Tab. 4: Fyzikální vlastnosti půdy - Budišov 2015

varianta	Hloubka půdy (m)	Objemová hmotnost red. (g.cm ⁻³)	Celková pórovitost (%)	Momentální obsah		Max.kapilár. kapacita	Min.vzduš. kapacita
				vody	vzduchu		
				%obj.		%obj.	
meziplodina	0 - 0,1	1,38	49,02	18,58	30,44	35,73	13,29
	0,1 - 0,2	1,43	48,87	22,80	24,38	31,61	15,57
	0,2 - 0,3	1,48	45,09	23,18	21,91	30,50	14,60
	0 - 0,3	1,43	47,66	21,52	25,58	32,61	14,49
kontrola	0 - 0,1	1,43	48,87	22,50	26,37	38,06	10,81
	0,1 - 0,2	1,50	46,32	24,59	21,73	34,64	11,68
	0,2 - 0,3	1,37	50,95	20,56	30,39	35,68	15,26
	0 - 0,3	1,44	48,71	22,55	26,16	36,13	12,58

V tabulce 5 jsou vyhodnoceny výsledky za rok 2016. Zde byl zjištěn výrazný rozdíl OHr mezi variantou s meziplodinou (var. 1) a kontrolní (var. 2), a sice 0,19 g.cm⁻³. V tomto roce došlo k překročení kritické hodnoty dle Lhotského (2000) pro tento druh půdy (1,60 g.cm⁻³). Utužení půdy bylo pravděpodobně způsobeno nižším úhrnem srážek v tomto roce a obnaženým povrchem půdy v meziřadí kukuřice. Také MKK byla zjištěna výrazně nižší u var. 2 oproti var. 1.

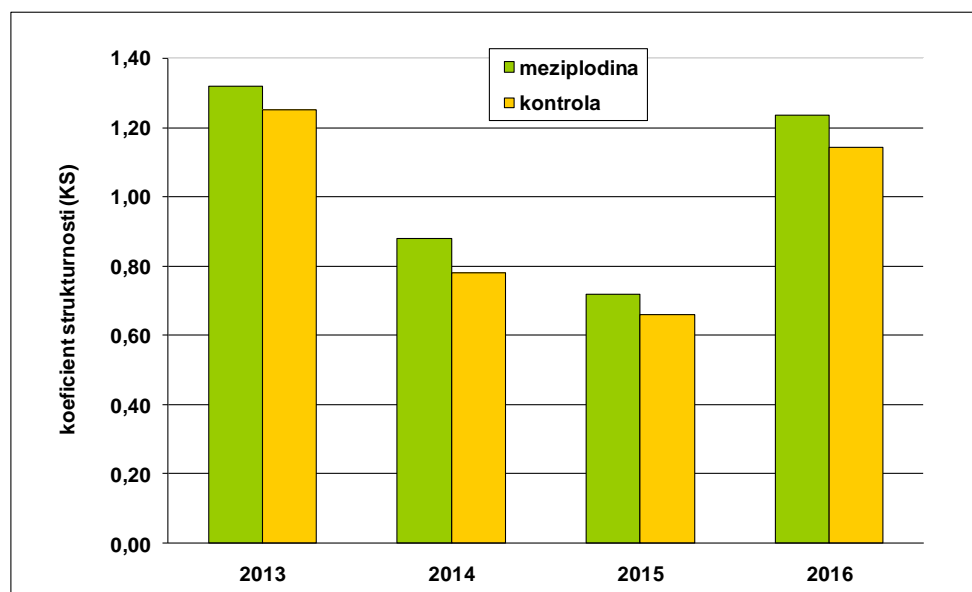
Tab. 5: Fyzikální vlastnosti půdy - Budišov 2016

varianta	Hloubka půdy (m)	Objemová hmotnost red. (g.cm ⁻³)	Celková pórovitost (%)	Momentální obsah		Max.kapilár. kapacita	Min.vzduš. kapacita
				vody	vzduchu		
				%obj.		%obj.	
meziplodina	0 - 0,1	1,43	49,02	26,75	22,27	35,59	13,43
	0,1 - 0,2	1,47	47,58	24,78	22,80	35,23	12,35
	0,2 - 0,3	1,44	48,73	25,84	22,89	38,14	10,59
	0 - 0,3	1,44	48,44	25,79	22,65	36,32	12,12
kontrola	0 - 0,1	1,62	42,13	23,21	18,92	31,56	10,57
	0,1 - 0,2	1,63	41,62	22,65	18,97	31,76	9,86
	0,2 - 0,3	1,64	41,51	21,52	19,99	30,36	11,15
	0 - 0,3	1,63	41,75	22,46	19,29	31,23	10,52

Struktura půdy byla ze stejných důvodů jako fyzikální vlastnosti půdy sledována u dvou variant, a to u meziplodin a kontrolní bez meziplodny.

Struktura půdy, vyjádřená průměrnými hodnotami koeficientu strukturnosti (KS) z hloubek 0 – 0,30 m, je vyhodnocena v grafu 2. Jak je z grafu patrné strukturetvornost byla nižší v letech 2014 a 2015, což mohlo být způsobeno různými faktory mimo jiné i klimatickými podmínkami, od kterých se odvíjí i momentální podmínky půdní. Ve všech letech však byly hodnoty KS vždy o málo vyšší u varianty s meziplodinou oproti variantě kontrolní. Je to dáno kořenovým systémem meziplodin, který v půdě pozitivně působí na rozdrobování půdních agregátů.

Graf 2: Průměrné hodnoty koeficientu strukturnosti ve sledovaných letech 2013 - 2016



Pro stanovení půdní vláhý v hmotnostních % byly odebírány sypané vzorky půdy pro doplnění vztahu k utužení půdy (tab. 6). Ledvina (1988) uvádí pro půdy hlinitopísčité optimální hmotnostní vlhkost 12 %. Nižší vlhkost než 12 % byla zjištěna pouze v roce 2013 ve spodní vrstvě půdy 0,20 – 0,30 m u všech sledovaných variant. V ostatních letech se hodnoty lišily dle daných klimatických podmínek v době odběru půdních vzorků.

Tab. 6: Průměrné hodnoty hmotnostní vlhkosti (% hmot.) v půdě – Budišov

Varianta	Hloubka půdy (m)	2013	2014	2015	2016
1	0,0-0,10	14,96	17,73	14,98	16,66
	0,10-0,20	14,12	22,34	13,31	17,87
	0,20-0,30	10,82	18,33	13,88	17,70
	průměr	13,30	19,46	14,06	17,41
2	0,0-0,10	15,75	21,45	14,36	16,98
	0,10-0,20	14,10	21,03	14,89	16,91
	0,20-0,30	11,87	20,17	15,11	15,69
	průměr	13,91	20,88	14,79	16,53
3	0,0-0,10	14,28	22,03	14,26	16,55
	0,10-0,20	13,89	21,61	15,65	15,95
	0,20-0,30	11,56	20,73	13,65	15,65
	průměr	13,24	21,46	14,52	16,05
4	0,0-0,10	12,94	13,61	12,07	14,22
	0,10-0,20	12,42	19,51	13,88	15,35
	0,20-0,30	11,27	19,11	13,89	15,21
	průměr	12,21	17,41	13,28	14,93

1.2. Sledování vodní eroze půdy

Sledování eroze půdy probíhalo vždy u zaseté kukuřice na siláž na svahu u všech variant. Na podzim po sklizni hlavní plodiny byly zasety meziplodiny, u variant 1, 2 nevymrzající žito svatojánské-trsnaté, u varianty 3 vymrzající meziplodina lnička drobnolistá nebo setá (viz Metodika pokusu). Abychom zjistili pokrývnost povrchu půdy meziplodinou, a tedy ochranu půdy před vodní erozí, byly varianty hodnoceny na podzim, po nárůstu biomasy meziplodin, a na jaře pro posouzení ochrany povrchu půdy organickými zbytky vymrzající a přezimující meziplodiny. V tabulkách 7 – 10 jsou uvedeny výsledky hodnocení pokrývnosti povrchu půdy v jednotlivých letech na podzim. Jak je z tabulek patrné 100 % ochrana půdního povrchu byla zajištěna u nevymrzající meziplodiny žito svatojánské-trsnaté a o něco méně zaručila ochranu vymrzající meziplodina lnička. To záviselo zejména na termínu vysetí meziplodiny a na vláhových poměrech v jednotlivých letech. Z pravidla čím byla meziplodina později setá, tím byl nižší nárůst nadzemní hmoty a tím byl povrch půdy méně chráněn.

Tab. 7: Procentické hodnocení pokrývnosti povrchu půdy - podzim 2012

varianta	opakování				Průměr
	A	B	C	D	
1	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100
3	85	85	85	85	85
4	0	0	0	0	0

Nejlepší pokrývnost půdy byla zaznamenána u všech třech variant s meziplodinami v roce 2013. U kontrolní varianty byla vždy pokrývnost povrchu půdy nulová.

Tab. 8: Procentické hodnocení pokrývnosti povrchu půdy - podzim 2013

varianta	opakování				Průměr
	A	B	C	D	
1	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100
4	0	0	0	0	0

Z výsledků hodnocení podzimní pokrývnosti povrchu půdy tedy vyplývá, že meziplodiny by měly být zasety nejlépe hned po sklizni hlavní plodiny, aby splnily svůj účel. Také kořeny vzrostlejších meziplodin mohou lépe přispět ke zlepšení půdní struktury a tím korigovat infiltrační schopnost půdy.

Tab. 9: Procentické hodnocení pokrývnosti povrchu půdy - podzim 2014

varianta	opakování				Průměr
	A	B	C	D	
1	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100
3	75	85	100	85	86
4	0	0	0	0	0

Tab. 10: Procentické hodnocení pokrývnosti povrchu půdy - podzim 2015

varianta	opakování				Průměr
	A	B	C	D	
1	100	100	100	100	100
2	95	100	100	85	95
3	65	65	75	75	70
4	0	0	0	0	0

V tabulkách 11 – 14 jsou uvedeny výsledky hodnocení pokrývnosti povrchu půdy v jednotlivých letech na začátku vegetace. Výsledky byly vyhodnoceny na základě vizuální detekce přezimující meziplodiny a zbytků meziplodiny vymrzlé, které pokrývají povrch půdy. Ve všech letech bylo zjištěno, že nejlepší pokrývnost povrchu půdy zajistila meziplodina žito svatojánské-trsnaté.

Tab. 11: Procentické hodnocení pokrývnosti povrchu půdy - jaro 2013

varianta	opakování				Průměr
	A	B	C	D	
1	100	100	100	100	100
2	100	85	100	100	96
3	75	85	75	85	80
4	0	0	0	0	0

Tab. 12: Procentické hodnocení pokrývnosti povrchu půdy - jaro 2014

varianta	opakování				Průměr
	A	B	C	D	
1	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100
3	65	65	65	75	68
4	0	0	0	0	0

Tab. 13: Procentické hodnocení pokrývnosti povrchu půdy - jaro 2015

varianta	opakování				Průměr
	A	B	C	D	
1	100	100	100	85	96
2	100	85	100	100	96
3	85	85	100	85	89
4	0	0	0	0	0

Tab. 14: Procentické hodnocení pokrývnosti povrchu půdy - jaro 2016

varianta	opakování				Průměr
	A	B	C	D	
1	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100
3	65	65	65	65	65
4	0	0	0	0	0

Vyhodnocení erozního smyvu půdy za sledované období je uvedeno v tabulce 15. Protierozní ochrana půdy se odvíjela ze zjištěné pokrývnosti povrchu půdy meziplodinami. Jak ukazuje tab. 15, ke smyvu půdy došlo v roce 2013 ve dvou termínech u varianty kontrolní a v roce 2014 také ve dvou termínech, koncem června u varianty s meziplodinou vymrzající a u kontrolní varianty bez meziplodiny koncem června a začátkem září po přívalových deštích. V roce 2014 byla pokrývnost půdy u varianty s vymrzající meziplodinou nižší (viz tab. 12) a srážková činnost vyšší, proto došlo ke smyvu půdy i u této varianty. V ostatních letech byla srážková činnost nižší, takže k žádné erozní události nedošlo.

Tab. 15: Zjištěný smyv půdy ($t \cdot ha^{-1}$) během sledovaných let – Budišov

varianta	datum smyvu			
	20.5.2013	27.6.2013	20.6.2014	4.9.2014
meziplodina	0	0	0,12	0,00
kontrola	0,35	0,25	0,15	0,10

V tab. 16 a 17 jsou uvedeny analýzy půdních vzorků ze smytých půd v roce 2013 a 2014. Vzhledem k výsledným hodnotám je patrné o jaké množství živin a humusu se přichází s každým smyvem půdy, které je pak třeba nahrazovat zvýšeným objemem minerálních a organických hnojiv. .

Tab. 16: Chemická analýza smytých půd – Budišov 2013

varianta	pH _{KCl}	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Nc (%)	humus (%)
kontrola	4,7	316	154	184	0,35	2,83

Tab. 17: Chemická analýza smytých půd – Budišov 2014

varianta	pH _{KCl}	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Nc (%)	humus (%)
vymrzající meziplodina	6,2	199	291	598	0,44	3,60
kontrola	6,7	195	233	227	0,39	2,60

1.3. Chemické vlastnosti půdy

Degradace zemědělské půdy je důsledkem poklesu obsahu organického uhlíku (Cox) v půdě a zvýšení jeho akumulace v atmosféře. Kritická spodní hranice obsahu uhlíku přímo závisí na zrnitostním složení půdy. Důležité je dosáhnout optimální hladiny obsahu Cox v půdě při daném způsobu hospodaření. Výsledky analýz Cox potvrzují, že na zrnitostně lehčích půdách je akumulace uhlíku nižší.

U přístupného K, Mg a Ca je patrné, že půdy netrpí nedostatkem těchto živin. Zajímavý je vysoký obsah přístupného fosforu v letech 2013 – 2015, zatímco v roce 2016 došlo k prudkému snížení až na dávku pouze vyhovující. Je to dáno tím, že pokus v posledním roce byl umístěn na stanoviště méně zásobované minerálním hnojivem oproti předešlým rokům. Také půdní reakce byla zjištěna nejnižší ze všech stanovišť a to také způsobuje menší přístupnost fosforu.

O průměrných hodnotách chemických vlastností půdy ve sledovaných letech nás informují tabulky 18 – 21.

Tab. 18: Chemické analýzy – Budišov 2013

Varianta	Hloubka půdy (m)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Nc (%)	Cox (%)	pH _{KCl}
1	0 - 0,15	101	145	174	2510	0,16	1,12	6,4
	0,15 - 0,30	107	126	208	1723	0,13	1,31	5,0
	průměr	104	136	191	2117	0,15	1,22	5,7
2	0 - 0,15	109	85	168	1062	0,10	1,59	6,0
	0,15 - 0,30	104	81	193	1322	0,11	1,39	5,1
	průměr	107	83	181	1192	0,11	1,49	5,6
3	0 - 0,15	103	99	123	1135	0,13	1,45	6,0
	0,15 - 0,30	102	103	134	1284	0,14	1,55	5,4
	průměr	103	101	129	1210	0,14	1,50	5,7
4	0 - 0,15	101	102	112	1188	0,12	1,10	6,0
	0,15 - 0,30	102	114	116	1359	0,15	1,13	5,1
	průměr	102	108	114	1274	0,14	1,12	5,6

Tab. 19: Chemické analýzy – Budišov 2014

Varianta	Hloubka půdy (m)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Nc (%)	Cox (%)	pH _{KCl}
1	0 - 0,15	184	379	178	2944	0,16	1,32	5,9
	0,15 - 0,30	153	406	125	2948	0,19	1,59	6,0
	průměr	169	393	202	2946	0,18	1,46	6,0
2	0 - 0,15	194	347	140	2444	0,16	1,34	5,8
	0,15 - 0,30	202	387	223	2571	0,16	1,66	5,7
	průměr	198	367	182	2508	0,16	1,50	5,7
3	0 - 0,15	156	352	158	2561	0,15	1,53	5,9
	0,15 - 0,30	166	397	197	2687	0,16	1,48	5,9
	průměr	161	375	178	2624	0,16	1,51	5,9
4	0 - 0,15	178	366	133	2592	0,14	1,28	5,9
	0,15 - 0,30	165	374	129	2688	0,18	1,33	5,6
	průměr	172	370	131	2640	0,16	1,31	5,8

Tab. 20: Chemické analýzy – Budišov 2015

Varianta	Hloubka půdy (m)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Nc (%)	Cox (%)	pH _{KCl}
1	0 - 0,15	284	338	168	2615	0,21	1,37	6,3
	0,15 - 0,30	285	333	132	2400	0,20	1,30	6,3
	průměr	285	336	150	2508	0,21	1,34	6,3
2	0 - 0,15	251	328	188	2485	0,19	1,30	6,3
	0,15 - 0,30	195	320	111	2467	0,16	1,26	6,1
	průměr	223	324	150	2476	0,18	1,28	6,2
3	0 - 0,15	178	303	107	2594	0,17	1,22	6,1
	0,15 - 0,30	182	321	140	2733	0,17	1,13	6,2
	průměr	180	312	124	2664	0,17	1,18	6,2
4	0 - 0,15	276	292	175	2382	0,17	1,35	6,1
	0,15 - 0,30	295	309	169	2601	0,20	1,25	6,1
	průměr	286	301	172	2492	0,19	1,30	6,1

Tab. 21: Chemické analýzy – Budišov 2016

Varianta	Hloubka půdy (m)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Nc (%)	Cox (%)	pH _{KCl}
1	0 - 0,15	155	225	76	2186	0,20	1,62	5,1
	0,15 - 0,30	192	237	83	2090	0,22	1,63	5,6
	průměr	174	231	80	2138	0,21	1,63	5,4
2	0 - 0,15	146	200	63	1453	0,22	1,68	5,0
	0,15 - 0,30	136	210	82	1490	0,23	1,74	4,4
	průměr	141	205	73	1472	0,23	1,71	4,7
3	0 - 0,15	124	226	48	1813	0,21	1,57	5,0
	0,15 - 0,30	113	233	55	1885	0,20	1,47	5,0
	průměr	119	230	52	1849	0,21	1,52	5,0
4	0 - 0,15	101	195	53	1758	0,19	1,44	4,9
	0,15 - 0,30	105	198	58	1845	0,21	1,48	4,8
	průměr	103	197	56	1802	0,20	1,46	4,9

Pokus II – digestát

Jak už bylo řečeno výše, tento pokus byl řešen v letech 2014 – 2016. Na rozdělení digestátů lze nahlížet z různých pohledů např. podle toho z jakých vstupních surovin vzniká, podle způsobu použití nebo jaký má obsah sušiny. Na digestáty jsou z hlediska legislativního kladeny zejména hygienické požadavky. Jedná se o splnění procesních hygienizačních

parametrů, splnění limitních hodnot rizikových prvků a indikátorových organismů. Je však třeba brát v úvahu i riziko negativních změn půdního prostředí.

2.1 Fyzikální vlastnosti půdy

Tabulky 22 – 24 uvádějí fyzikální vlastnosti půdy v jednotlivých letech. V roce 2014 (tab. 22) byla objemová hmotnost redukovaná (O_{Hr}) nejnižší u varianty 2 (1x dávka digestátu). U varianty 1 a 3 byly hodnoty O_{Hr} zhruba na stejné úrovni. Tomu odpovídaly další parametry pórovitost, maximální kapilární kapacita (MKK) a minimální vzdušná kapacita (MVK). Jde o vstupní údaje po založení pokusu s digestátem, který byl poprvé aplikován na začátku vegetace před setím kukuřice na siláž. MKK byla na stejné úrovni u všech variant, MVK byla zjištěna nejvyšší u varianty 2, díky nejnižší utuženosti půdy.

Tab. 22: Fyzikální vlastnosti půdy - Budišov 2014

varianta	Hloubka půdy (m)	Objemová hmotnost red. (g.cm ⁻³)	Celková pórovitost (%)	Momentální obsah		Max.kapilár. kapacita	Min.vzduš. kapacita
				vody	vzduchu		
				%obj.		%obj.	
1	0 - 0,1	1,45	44,41	20,22	24,19	32,56	11,85
	0,1 - 0,2	1,38	46,97	21,76	25,21	34,96	12,01
	0,2 - 0,3	1,53	41,30	19,64	21,67	31,43	9,87
	0 - 0,3	1,45	44,23	20,54	23,69	32,99	11,24
2	0 - 0,1	1,25	52,01	14,01	38,00	31,20	20,82
	0,1 - 0,2	1,30	49,98	14,09	35,89	31,55	18,43
	0,2 - 0,3	1,21	53,65	11,31	42,34	35,26	18,39
	0 - 0,3	1,25	51,88	13,14	38,75	32,67	19,21
3	0 - 0,1	1,39	46,51	16,29	30,22	32,76	13,75
	0,1 - 0,2	1,47	43,65	17,23	26,42	31,08	12,58
	0,2 - 0,3	1,34	48,54	14,91	33,63	33,22	15,32
	0 - 0,3	1,40	46,23	16,14	30,09	32,35	13,88

V roce 2015 (tab. 23) se O_{Hr} již zvýšila u varianty 2 i 3 a tím se snížila i pórovitost. MKK byla zhruba na stejné úrovni, ale MVK se zvýšila u varianty 1. Je to opět v reciprocitě s utužením půdy.

Tab. 23: Fyzikální vlastnosti půdy - Budišov 2015

varianta	Hloubka půdy (m)	Objemová hmotnost red. (g.cm ⁻³)	Celková pórovitost (%)	Momentální obsah		Max.kapilár. kapacita	Min.vzduš. kapacita
				vody	vzduchu		
				%obj.		%obj.	
1	0 - 0,1	1,31	50,65	16,49	34,16	33,14	17,51
	0,1 - 0,2	1,38	48,10	19,59	28,51	33,59	14,51
	0,2 - 0,3	1,39	47,55	18,83	28,72	32,16	15,39
	0 - 0,3	1,36	48,77	18,30	30,46	32,97	15,80
2	0 - 0,1	1,29	52,26	13,93	38,33	36,60	14,34
	0,1 - 0,2	1,45	46,32	19,15	27,17	31,38	14,94
	0,2 - 0,3	1,42	47,23	26,04	21,19	35,47	11,76
	0 - 0,3	1,39	48,61	19,71	28,90	34,48	13,68
3	0 - 0,1	1,34	50,55	15,33	35,21	35,69	14,86
	0,1 - 0,2	1,49	44,92	20,98	23,94	29,98	14,95
	0,2 - 0,3	1,42	47,29	19,06	28,24	33,29	14,01
	0 - 0,3	1,42	47,59	18,46	29,13	32,98	14,60

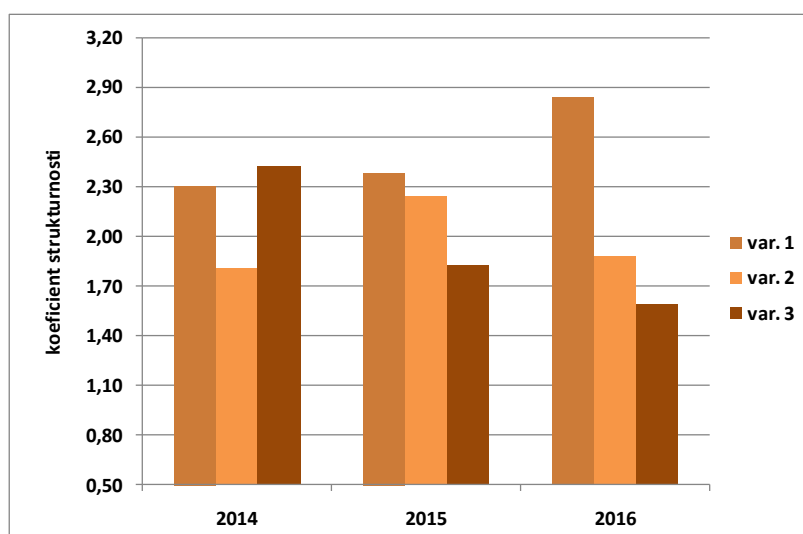
V tab. 24 jsou uvedeny hodnoty fyzikálních vlastností půdy za rok 2016. V tomto roce již dosáhla var. 2 a 3 mnohem vyšších hodnot O_{Hr} oproti var. 1 – kontrolní, kde byla O_{Hr} nižší o 0,19 g.cm⁻³ oproti var. 2 a o 0,18 g.cm⁻³ oproti var. 3. Tím byly hodnoty pórovitosti a MVK o hodně nižší u var. 2 a 3 vzhledem utuženosti půdního profilu. Hodnoty O_{Hr} u těchto dvou variant přesahují mezní hodnoty kritických vlastností, která je podle zrnitostního složení na tomto stanovišti 1,55 g.cm⁻³ (Lhotský, 2000). Dobré fyzikální vlastnosti jsou nutné k využití živin, pokud tomu tak není, musí se vyrovnávat zvýšenou dávkou živin.

Tab. 24: Fyzikální vlastnosti půdy - Budišov 2016

varianta	Hloubka půdy (m)	Objemová hmotnost red. (g.cm ⁻³)	Celková pórovitost (%)	Momentální obsah		Max.kapilár. kapacita	Min.vzduš. kapacita
				vody	vzduchu		
				%obj.		%obj.	
1	0 - 0,1	1,42	47,48	17,04	30,44	33,39	14,09
	0,1 - 0,2	1,47	45,65	17,53	28,12	32,18	13,47
	0,2 - 0,3	1,46	43,76	19,20	24,56	31,73	12,03
	0 - 0,3	1,45	45,63	17,92	27,71	32,43	13,20
2	0 - 0,1	1,63	39,72	26,55	13,17	33,79	5,94
	0,1 - 0,2	1,65	38,94	25,09	13,85	33,55	5,39
	0,2 - 0,3	1,64	39,42	25,84	13,58	32,94	6,48
	0 - 0,3	1,64	39,36	25,83	13,53	33,43	5,94
3	0 - 0,1	1,62	42,13	23,21	18,92	31,56	10,57
	0,1 - 0,2	1,63	41,62	22,65	18,97	31,76	9,86
	0,2 - 0,3	1,64	41,51	21,52	19,99	30,36	11,15
	0 - 0,3	1,63	41,75	22,46	19,29	31,23	10,52

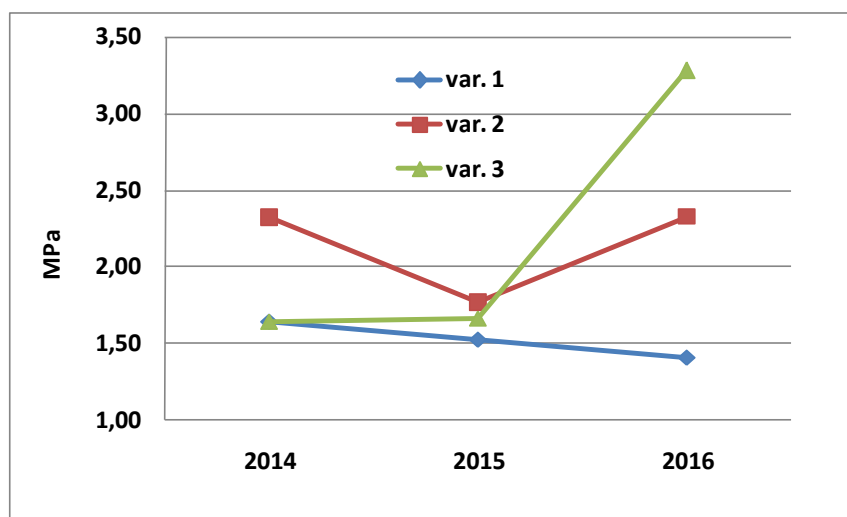
Struktura orníčního horizontu je zde posuzována podle koeficientu strukturnosti. V grafu 3 jsou vyhodnoceny výsledky průměrných hodnot půdní struktury v jednotlivých letech z hloubek 0 – 0,30 m. Jak z grafu vyplývá, půdní struktura se vyvíjela postupně k lepšímu u varianty 1, tedy bez aplikace digestátu.

Graf 3: Průměrné hodnoty koeficientu strukturnosti ve sledovaných letech 2014 – 2016



Dalším sledovaným fyzikálním parametrem je měření zhutnění půdy penetremetrem. Tato půdní vlastnost je důležitá z hlediska odolnosti půdy proti přemokření nebo naopak rychlé vysoušení půd a samozřejmě pro snadný příjem živin rostlinami. V grafu 4 jsou zobrazeny křivky průměrných hodnot penetrometrického odporu půdy během sledovaných let. Stejně jako u OHr je patrný stoupající trend utužení u variant se zapraveným digestátem, zatímco u varianty bez digestátu je trend opačný.

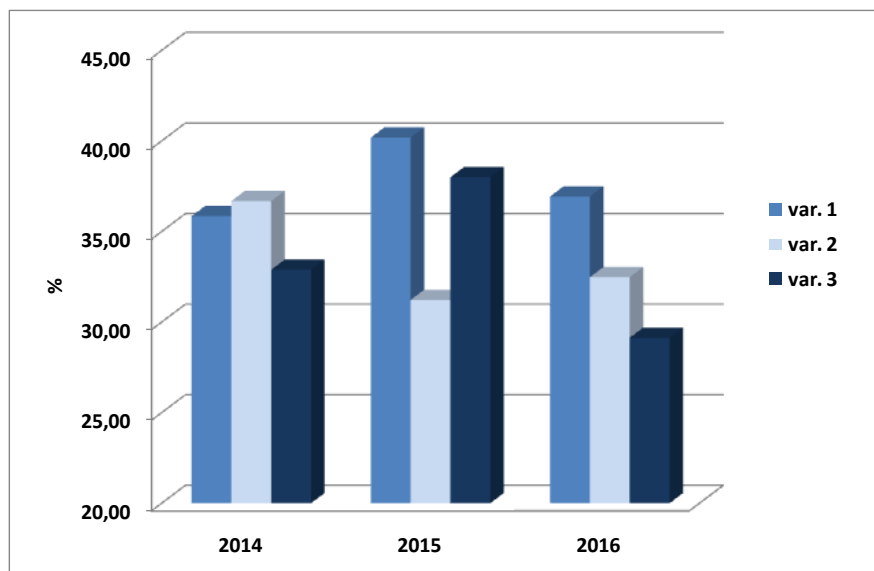
Graf 4: Penetrometrický odpor půdy ve sledovaných letech – Budišov 2014 – 2016



Vodostálost půdních agregátů odpovídala trendu půdní struktury a penetrometrickému měření jak je graficky vyhodnoceno v grafu 5. Zatímco v roce 2014 byla vodostálost půdních agregátů vyrovnaná, v roce 2016 již byly zjištěny výrazné rozdíly mezi variantou kontrolní a

variantou 2x hnojenou digestátem. U var. 1 byla dle Bartlové a kol. (2015) zjištěna střední kvalita struktury podle vodostálosti půdních agregátů, zatímco u var. 2 a 3 již nízká.

Graf 5: Průměrné hodnoty vodostálosti půdních agregátů – Budišov 2014 – 2016



2.2. Chemické vlastnosti půdy

V rámci chemického hodnocení půdních vlastností byly posuzovány tyto parametry: pH, humus, celkový dusík, C/N a kvalita humusu. Výsledky chemických rozborů jsou uvedeny v tabulkách 25 – 27. Během třech let bylo zjištěno, že pH se snížilo u varianty s 2x aplikovaným digestátem o 0,4 a u varianty s 1x aplikovaným digestátem o 0,2 oproti variantě kontrolní (var. 1) v posledním roce měření (tab. 27). Výměnná půdní reakce (pH/KCl) je definována jako schopnost půdy měnit pH roztoků minerálních solí (elektrolytů). Je dána kationy vodíku, které jsou sorbovány půdními koloidy, a které se mohou za určitých podmínek uvolnit do půdního roztoku a tím zvyšovat kyselost půdy. U aplikace digestátu může docházet k poruše půdní sorbce vzhledem k jeho charakteru a docházet tak ke snížení pH.

Obsah celkového dusíku je důležitý pro zjištění poměru C:N. Poměr C/N by neměl být nižší jak 10, optimálně kolem 20. Poměr C/N byl zjištěn na střední úrovni u všech variant, ale během let měl vzrůstající trend. Optimální poměr C/N u všech variant byl zjištěn u var. 1 a 2, nejnižší však u var. 3 (2x aplikovaný digestát) v roce 2016 (tab. 27). Projevil se tak prokazatelný úbytek celkové zásoby organických látek v půdě.

Kvalita humusu byla posuzována podle poměru obsahu huminových kyselin k fulvokyselinám (HK / FK) a podle barevného koeficientu Q4/6. Se vzrůstajícím obsahem huminových kyselin

vzrůstá i kvalita humusu. Vysoce kvalitní humus má mít poměr HK / FK vyšší než 1,5. Takové půdy jsou odolnější vůči ztuhnutí i okyselení. V našem případě byly všechny poměry HK/FK pod hodnotou 1, takže kvalita humusu byla špatná u všech variant. Tomu odpovídal i koeficient Q4/6, kde čím je vyšší hodnota tím je horší kvalita. Nejlepší kvality bylo dosaženo u varianty kontrolní – bez aplikace digestátu.

Tab. 25: Chemické analýzy - Budišov 2014

varianta	hloubka (m)	pH _{KCl}	Humus (%)	Nc (%)	C : N	Q4/6 (%)	HK/FK (%)
1	0 - 0,15	6,6	3,7	0,17	11	4,9	0,53
	0,15 - 0,30	6,7	3,2	0,14	12	4,3	0,71
	průměr	6,7	3,4	0,16	11	4,6	0,62
2	0 - 0,15	6,0	4,2	0,21	12	5,8	0,37
	0,15 - 0,30	6,2	4,2	0,19	13	5,7	0,38
	průměr	6,1	4,2	0,20	12	5,8	0,38
3	0 - 0,15	6,0	3,8	0,19	12	5,7	0,38
	0,15 - 0,30	6,3	3,3	0,21	9	5,9	0,35
	průměr	6,2	3,6	0,20	10	5,8	0,37

Tab. 26: Chemické analýzy - Budišov 2015

varianta	hloubka (m)	pH _{KCl}	Humus (%)	Nc (%)	C : N	Q4/6 (%)	HK/FK
1	0 - 0,15	6,2	4,4	0,19	14	5,0	0,41
	0,15-0,30	6,3	4,8	0,15	19	4,9	0,38
	průměr	6,3	4,6	0,17	16	5,0	0,40
2	0 - 0,15	5,4	4,2	0,14	17	6,1	0,26
	0,15-0,30	5,6	4,2	0,25	10	6,0	0,27
	průměr	5,5	4,2	0,20	13	6,1	0,27
3	0 - 0,15	6,4	3,8	0,21	10	6,3	0,33
	0,15-0,30	6,2	4,1	0,19	13	6,1	0,32
	průměr	6,3	4,0	0,20	12	6,2	0,33

Tab. 27: Chemické analýzy - Budišov 2016

varianta	hloubka (m)	pH _{KCl}	Humus (%)	Nc (%)	C : N	Q4/6 (%)	HK/FK
1	0 - 0,15	6,2	4,4	0,16	16	5,0	0,53
	0,15-0,30	6,1	4,5	0,13	20	5,3	0,46
	průměr	6,2	4,4	0,15	18	5,2	0,50
2	0 - 0,15	5,8	3,9	0,13	17	6,3	0,31
	0,15-0,30	6,1	4,4	0,12	21	6,1	0,33
	průměr	6,0	4,1	0,13	19	6,2	0,32
3	0 - 0,15	5,8	3,3	0,13	15	5,8	0,37
	0,15-0,30	5,8	3,3	0,11	17	5,9	0,35
	průměr	5,8	3,3	0,12	16	5,9	0,36

2.3. Výnosy plodin

Úkolem zpracování půdy je vytvořit vhodné podmínky pro založení porostů, pro růst, vývoj a tvorbu výnosů pěstovaných plodin i pro správný průběh půdních procesů. Jedním z hlavních

cílů zpracování půdy je úprava fyzikálních vlastností, na nichž je závislé nejen dobré hospodaření s půdní vodou, ale i další ukazatele úrodnosti půdy. V rámci osevního postupu byl sledován výnos plodin na pokusném stanovišti s aplikovaným digestátem.

V roce 2014 byla pěstována na sledovaném pokuse kukuřice na siláž, v roce 2015 a 2016 pšenice ozimá.

V tab. 28 jsou uvedeny výnosy pěstovaných plodin během tří sledovaných let.

Výše výnosu byla ovlivněna nejen fyzikálními a chemickými vlastnostmi půdy, ale také průběhem klimatických podmínek v daném roce. V roce 2014, kdy byla srážková činnost vysoká, byl výnos kukuřice nejvyšší u varianty 3, a sice o 4,74 t/ha vyšší než u varianty 1 a o 4,2 t/ha vyšší než u varianty 2. V roce 2015 byly výnosy pšenice ozimé opět nejvyšší u varianty 3 5,79 t/ha a nejnižší u varianty 1 (kontrolní) 4,42 t/ha, tedy o 1,37 t/ha nižší oproti var. 3. V roce 2016 byly výnosy pšenice ozimé vyrovnanější u všech variant, ale nejvyšší byly zaznamenány opět u var. 3. U varianty 1 byly výnosy o 0,2 t/ha nižší oproti var. 2. Tyto výsledky byly dány dodáním většího množství živin formou digestátu. 2x ročně aplikovaný digestát zvýšil obsah živin a tudíž i výnosy pěstovaných plodin.

Tab. 28: Výnosy plodin ve sledovaných letech – Budišov 2014 – 2016

varianta	opakování	2014	2015	2016
		t/ha		
1	a	38,65	4,56	5,68
	b	37,52	4,41	5,78
	c	37,42	4,28	5,51
	průměr	37,86	4,42	5,66
2	a	39,42	4,96	5,78
	b	37,86	5,00	5,91
	c	37,91	5,02	5,71
	průměr	38,40	4,99	5,80
3	a	43,02	5,67	5,88
	b	42,68	5,72	5,70
	c	42,09	5,99	5,99
	průměr	42,60	5,79	5,86

IV. Závěr

Pokus I

U pokusu ze sledování erozního smyvu půdy a využitím meziplodin bylo zjištěno, že:

- Objemová hmotnost redukována byla o málo nižší u varianty s meziplodinou oproti variantě kontrolní.
- Struktura půdy, vyjádřená koeficientem strukturnosti, byla lepší u varianty s meziplodinou a během let se zvyšovala.

- Půdní vlhkost byla vždy vyšší u variant s mezipločinou, projevila se zde větší vododržnost.
- Pokryvnost povrchu půdy byla nejlépe zajištěna nevymrzající mezipločinou žito svatojánské-trsnaté. Téměř v každém roce stoprocentně pokryla povrch půdy svou nadzemní biomasou. Nevymrzající mezipločina také splňovala ochranný povrchu půdy.
- Erozní smyv půdy byl zjištěn 2x během čtyř let, a to vždy u varianty kontrolní – bez mezipločiny a 1x u varianty s vymrzající mezipločinou.
- Chemické vlastnosti půdy nebyly výrazně ovlivněny variantami.

Z výsledků je tedy patrné, že jako nejlepší půdoochranné opatření je využívání mezipločiny seté hned po sklizni hlavní plodiny, nejlépe nevymrzající, která má lepší schopnost narostlou biomasu na podzim udržet až do jarního období.

Pokus II

Ze sledování fyzikálních a vybraných chemických vlastností půdy u různých variant s aplikací digestátu bylo zjištěno, že:

- Objemová hmotnost redukovaná se zvýšila po zapravení digestátu a tím se snížila pórovitost a minimální vzdušná kapacita.
- Penetrometrický odpor půdy, stejně jako u OHR, měl stoupající trend utužení u variant se zapraveným digestátem, zatímco u varianty bez digestátu je trend opačný.
- Struktura půdy byla negativně ovlivněna zapravením digestátu, zhoršila se strukturotvornost.
- U sledování vodostálosti půdních agregátů byl zaznamenán trend zhoršování stavu ze středních hodnot k nízkým u varianty s 2x aplikovaným digestátem.
- Podle poměru C:N bylo zjištěno, že u variant se zapraveným digestátem došlo ke zvýšení obsahu dusíku a snížení obsahu využitelného uhlíku, zvláště ve svrchní vrstvě půdy. Dochází tak k pomalejšímu rozkladu organické hmoty a ta je mikrobiologicky hůře využitelná.
- Půdní reakce se postupně snižovala u variant s digestátem. Také byla zjištěna horší kvalita humusu u variant s digestátem oproti variantě bez aplikace digestátu.
- Výnosy byly vždy vyšší u variant s digestátem díky většímu množství dodaným živin.

Výsledky tohoto pokusu jasně naznačují, že výnosy plodin jsou sice vyšší po aplikaci digestátu, ale současně se mohou zhoršovat půdní podmínky jak z hlediska fyzikálních, tak chemických vlastností půdy, což může vést k nevratné degradaci půdy.

V. Srovnání novosti postupů

Získané výsledky vhodně doplňují stávající poznatky o půdoochranných technologiích s využitím meziplodin a jeho pozitivního vlivu na půdní prostředí. V této metodice jsou vyhodnoceny výsledky jak z protierozní ochrany půdy, tak při využívání digestátu jako hnojiva. Při nadměrném hnojení digestátem a při nevhodných půdních podmínkách může docházet ke zhoršení fyzikálních a chemických vlastností půdy a k nevratnému utužení (zhutnění) půdy. Zhutnění půdy změní fyzikální vlastnosti půdy, tedy objemovou hmotnost, pórovitost, sníží se pohyb vody v půdě a provzdušňenost, chemické i biologické procesy v půdě, ztrácí se strukturotvornost se všemi škodlivými následky na fyzikální, chemický a biologický stav půdy a následně její úrodnost.

V metodice jsou uvedeny výsledky z fyzikálních a chemických hodnocení půd, které jsou použitelné v podmínkách ČR.

VI. Popis uplatnění certifikované metodiky

Uplatnění výsledků této metodiky jsou vhodné pro zemědělce využívající pozemky na svahu se zachováním správného hospodaření a využitím půdoochranných technologií se zařazením pěstování meziplodin. Dále metodika přináší objektivní podklady k vyhodnocení vlivu digestátu na půdní prostředí se všemi důsledky, které mohou nastat při nesprávném používání. Tyto výsledky budou přínosem pro zamezení degradace půdy a ochranu životního prostředí.

VII. Ekonomické vyhodnocení

Co se týče erozního smyvu půdy tak při finančním hodnocení ztrát půdy na pozemku je možné odnesený objem půdy vynásobit cenou ornice na trhu (průměrně 350 Kč/m³). Takto stanovené ceny ornice však nestačí na posouzení škod na půdě. Problém spočívá zejména v tom, že půdu musíme chápat jako neobnovitelný přírodní zdroj (s obnovitelnými funkcemi) a při velmi intenzivní erozi může dojít k její nenávratné ztrátě. Identifikace erozního poškození půdy pak vede ke změnám BPEJ, protože mohou nově vznikat mělké půdy, zvyšuje se skeletovitost, dobré půdy degradují na horší, čímž se snižuje produkce a zisk.

V případě digestátu při dávce 20 t digestátu/ha dostaneme do půdy cca 65 kg N, 15 kg P a 25 kg K, což odpovídá cca 1 q kombinovaného hnojiva NPK za cenu 1.500,- Kč a snížení dusíkatého hnojiva o 1 q LAV v ceně cca 500,- Kč. Prozatím nejsou zahrnována jiná kritéria.

VIII. Seznam použité související literatury

- Bartlová J., Badalíková B., Pospíšilová L., Pokorný E., Šarapatka B., 2015: Water stability of soil aggregates in different systems of tillage. *Soil and Water Research*, 10 (3): 147-154.
- Brown, S., Cotton, M., 2011: Changes in soil properties and carbon content following compost application: Results of on - farm sampling. *Compost Science and Utilization*, 19 (2): 87-96.
- Dostál, J., Richter R., 2008: Porovnání kvality kejd s digestátem z bioplynových stanic a jejich využití ke hnojení zemědělských plodin. In: Sborník ze semináře Kukuřice v praxi 2008, MZLU Brno
- Fullen M. A., Yi. Z., Brandsma R., T., 2006: Comparison of soil and sediment properties of a Loamy sand soil. *Soil Technol.* 10: 1-8
- Javůrek, M., Vach, M., 2008: Negativní vliv zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. *Metodika pro praxi, VURV,v.v.i.*, 24s.
- Kandeler, E.; 1996: Aggregate stability. In: Schiner et al. (Eds.): *Methods in Soil Biology*. Berlin, Springer-Verlag, 426 s.
- Klír, J., Vegricht, J., 2009: Produkce a využití statkových hnojiv v ČR. In: XV. mezinárodní konference "Racionální použití hnojiv", ČZU Praha, 2009, s.1-4
- Kolář, L., Kužel, S., Štindl, P., Peterka, J., Brouček, J., 2010: Je digestát z bioplynových stanic výborným organickým hnojivem? *Úroda*4/2010, s. 88-89
- Kononová, M. M., Bělčíková, N. P., 1963: Uskorenyj metod opredelenija sostava gumusa mineralnych počv. In: *Organičeskoje veščestvo počvy*. Moskva, 228–234.
- Ledvina R. a kol., 1988: *Pedologie (návody pro cvičení specializovaného studia pedobiotechnologie)*. VŠZ Praha, 128 s.
- Lhotský, J., 2000: Zhutnění půd a opatření proti němu. *Studijní zpráva UZPI Praha*, 61s.
- Lošák, T., 2010: Výhody a nevýhody digestátu při hnojení plodin, *Farmář* 2/2010, s. 22-23.
- Marada, P., Večeřová V., Kamarád L., Dundálková P., Mareček J., 2008: *Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem*. MZLU Brno, 2008, 30 s.
- Marko, F., Bízík, J., Sekerková, M., Surovčík, J., 1996: *Pestovanie kukuřice*. VÚRV Piešťany, SR, 104 s

- Nelson, D. W., Sommers, L. E., 1982: Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A. L., Miller, R.H. and Keeney, D. R. (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. ASA, Madison, Wisconsin. 1982, 539–579.
- Pokorný, E., Denešová O., 1998: Bilancování živin v zemědělských podnicích. In: Agroekologická ročenka 1995-1996, s. 75-83
- Pokorný, E., Střalková, R., Denešová, O., 1998: Využití biologických testů ke kontrole změn půdní úrodnosti. In: Agroekologická ročenka 1995-1996, s.19-40
- Pokorný, E.; Brtnický, M.; Denešová, O.; Podešvová, J.; 2012: Charakteristika antropogenní degradace černozemí luvických v oblasti Hané. Monografie, Mendelova univerzita v Brně, 91s.
- Vach, M., Haberle, J., Javůrek, M., Procházka, J., Procházková, B., Suškevič, M., Neudert, L., 2005: Pěstování meziplodin v různých půdně-klimatických podmínkách České republiky. Praha, ÚZPI, Zeměd. Inform., 36 s.
- Zhang J.H., Su Z.A, Nie X.J., 2009: An investigation of soil translocation and erosion by conservation hoeing tillage on steep lands using a magnetic tracer. In: Soil & Tillage research 105, s.177-183

IX. Seznam publikací předcházejících metodice

- Badalíková B., 2016: Půda – to nejcennější co máme. <http://vesmir.cz/2016/11/29/puda-nejcennejsi-mame/> s. 1-6
- Badalíková B., 2015: Ochrana půdy v souvislosti se změnou klimatu. In: Brožura Mze: Genetické zdroje rostlin a změna klimatu, s.13-17 ISBN 978-80-7434-249-3
- Badalíková B., 2015: Jedna z možností ozdravení půdy. Zemědělský týdeník 26/15, roč. XVIII., s. 10-11 ISSN 1212-2246
- Badalíková B., 2014: Budoucí priorita voda. Zemědělský týdeník 18/2014, roč. XVIII, s. 8-11 ISSN 1212-2246
- Badalíková B., Bartlová J., 2013: Funkce meziplodin při ochraně půdy před vodní erozí. In CD: Rožnovský, J., Litschmann, T. Středová, H., Středa, T. (eds): Voda, půda a rostliny, Křtiny, 29. – 30.5. 2013, s.1-6 ISBN 978-80-87577-17-2
- Badalíková B., Bartlová J., 2013: Degradáční procesy v půdě na hnědozemí oglejené při jejím různém zpracování. In Sb.abstraktů: 16. Pedologické dny 2013, Časové změny půdních vlastností a jejich predikce. Milovy 4.- 6. 9.2013, s.30 ISBN 978-80-7375-796-0

- Badalíková B., Bartlová J., 2013: Stále aktuální ochrana před vodní erozí. Farmář 9/2013, s.30-33 ISSN 1210-9789
- Badalíková B., Bartlová J., 2013: Zjištění změn půdních parametrů při různém zpracování půdy a aplikaci digestátu. (Detection of soil parameters changes by different soil tillage and application of digestate). Úroda 12, roč.LXI, vědecká příloha, s.252-255 ISSN 0139-6013
- Badalíková B., Bartlová J., 2014: Effect of soil tillage and digestate application on some soil properties. DOI: 10.12666/ Növénytermelés Vol. 63.2014.Suppl., Villach, Austria, s.157-160 ISSN 0546-8191
- Badalíková B., Bartlová J., 2014: Zpracování půdy po sklizni plodin. Zemědělec 26/2014, roč. XXII, s. 11-14 ISSN 1211-3816
- Badalíková B., Bartlová J., 2014: Effect of soil tillage and digestate application on some soil properties. Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences, Hungary Vol. 1 (2014), p.7-11 ISSN 2064-7816
- Badalíková B., Lang J, 2014: Agrotechnika ovlivňuje úrodnost půdy a výnosy plodin. Krmivářství, roč.XVIII, č.2, s.36-38 ISSN 1212-9992
- Badalíková B., Novotná J., 2015: Vliv aplikace digestátu na vybrané vlastnosti půdy. Pedologické dny, Deštné v Orlických horách 9. – 11. 9. 2015, s. 56 ISBN 978-80-244-4802-2
- Badalíková B., Novotná J., 2016: Udržení půdní vláhly – vyšší odolnost proti suchu. Zemědělský týdeník + Poľnohospodársky týždenník, 19/2016, s.9-10 ISSN 1212-2246
- Badalíková B., Novotná J., 2016: Vliv organické hmoty v půdě na její retenční schopnost. Konference “Půda a zemědělské sucho”, 28. – 29. 4. 2016, Kutná Hora, s. 292-297 ISBN 978-80-87361-55-9
- Badalíková B., Novotná J., 2016: Vliv organické hmoty v půdě na zadržení vláhly. In Sb. Mezinár. konf. Choťovice u Žehuně, 30. 6. 2016, s. 4-11
- Badalíková B., Novotná J., 2016: Půdní vlhkost souvisí s obsahem humusu v půdě. Agrární obzor 8/2016, s.18-19 ISSN 1214-1291
- Badalíková B., Novotná J.: Utužení půdy na hrázích rybníků při pěstování různých travních směsí. Úroda 12, roč. LXIV, vědecká příloha, s. 317-320 ISSN 0139-6013
- Badalíková B., Novotná J.: Možnost snížení vodní eroze zapravením kompostu do půdy. Úroda 12, roč. LXIV, vědecká příloha, s. 321-324 ISSN 0139-6013

- Bartlová J., Badalíková B., Pospíšilová L., Pokorný E., Šarapatka B., 2015: Water stability of soil aggregates in different systems of tillage. *Soil and Water Research*, 10 (3): 147-154. ISSN 1805-9384
- Bartlová J., Badalíková B., 2013: Influence of fallow on soil quality. In CD: 12th Alps-Adria Scientific Workshop, 18.-23.3.2013, Opatija, Croatia, s.237-240
- Bartlová J., Badalíková B., Brtnický M., Hladký J.: Změny fyzikálních vlastností půdy při svahové erozi. *Úroda* 1, 2015, s. 64-65. ISSN 0139-6013
- Bartlová J., Badalíková B., Brtnický M., Hladký J., 2014: Water erosion effects on water stability of soil aggregates. In [Növénytermelés](#), vol. 63., supplement, p. 165-168. ISSN 0546-8191
- Hábová M., Pospíšilová L., **Novotná J., Badalíková B.**, Jurica J.: Haplic chernozem properties as affected by different tillage systems. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.*, 2016, Volume 64, n. 1, p. 63-69. ISSN 1211-8516
- Lang, J., Badalíková, B., 2013: Jetelovinotravní směsi na orné půdě ve výživě dojníc. In: Třináctý, J. a kol. Hodnocení krmiv pro dojnice. 1. vydání, vydal: AgroDigest s.r.o., 2013. Počet stran 592. ISBN 978-80-260-2514-6
- Novotná J., Badalíková B., 2016: Vodostálost půdních agregátů odráží stav půdní struktury. *Úroda* 11, roč. LXIV, s. 45-47. ISSN 0139-6013
- Novotná J., Badalíková B., Hladký J., Brtnický M., 2016: Effect of water erosion on soil physical properties. In Proc. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2015, Albena 28.6.-7.6.2016, Bulgaria, Book 3, pp. 95-102 ISBN 978-619-7105-37-7 ISSN 1314-2704

X. Dedikace, jména oponentů

Certifikovaná metodika je výsledkem řešení za (částečné) institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace č. RO1715 pod názvem „Rozvoj pícninářského výzkumného pracoviště“, financovaného MŠMT ČR.

Oponenti

Ing. Michaela Budňáková – MZe ČR

Ing. Ladislava Minaříková – odborník z praxe

Přílohy - fotodokumentace:



Obr. 1: Splavená půda v záchytné kapse u varianty bez meziplodiny



Obr. 2: Pokryv povrchu půdy meziplodinou žito svatojánské – trsnaté, jaro 2014



Obr. 3: Erozní rýhy u varianty s nechráněným povrchem půdy



Obr. 4: Dobře chráněný povrch půdy zbytky meziploidy desikovaného žita svatojánského – trsnatého – srpen, 2015



Obr. 5: Pokusný pozemek s aplikací digestátu



Vydal: Zemědělský výzkum, spol. s r. o., Troubsko
Náklad: 300 výtisků
Tisk: REIS – reklamní studio, Traubova 12, Brno
Grafická úprava: Radomír Lejska
Autoři fotografií: Barbora Badalíková, Jaroslava Novotná

ISBN 978-80-88000-11-2