

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

ING. MAREK KOPECKÝ

**ČESKÉ BUDĚJOVICE
2018**

Autoreferát disertační práce

- Doktorand:** **Ing. Marek Kopecký**
- Studijní program:** Fytotechnika
- Studijní obor:** Speciální produkce rostlinná
- Název práce:** Environmentální aspekty pěstování vybraných energetických rostlin
- Školitel:** doc. Ing. Jan Moudrý, Ph.D.
- Oponenti:** Doc. Ing. Jan Mikulka, CSc.
VÚRV – Praha, Ruzyně
- Prof. Ing. Dr. Milada Šťastná
MENDELU, Brno
- Ing. Miroslav Herout, Ph.D.
Kompostárna Jarošovice s. r. o.

Obhajoba disertační práce se koná dne 24. 9. 2018 v
.... hod. v místnosti vědecké rady ZF JU v Českých
Budějovicích.

S disertační prací se lze seznámit na studijním oddělení
Zemědělské fakulty JU v Českých Budějovicích.

doc. Ing. Jan Bárta, Ph.D.
předseda oborové rady
Speciální produkce rostlinná
ZF JU v Českých Budějovicích

Abstrakt

Prvním cílem disertační práce bylo determinovat energetický zisk, kterého je možno dosáhnout při pěstování vybraných druhů energetických rostlin na experimentální lokalitě Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Zkoumána byla jednoletá rostlina *Zea mays* L. a dále vytrvalé druhy *Phalaris arundinacea* L., *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 a *Miscanthus* × *giganteus*.

V návaznosti na zjištěná data byla pomocí metody USLE vyjádřena erozní ohroženost půd při pěstování těchto rostlin. Dále byl proveden rozbor půd ze zmiňovaných porostů. Analýzy byly zaměřeny na hodnocení organické hmoty pomocí nově zaváděné metody. Posledním aspektem, který byl v porostech sledován, byl výskyt střevlíkovitých brouků jakožto bioindikátorů stavu životního prostředí.

Výsledky výzkumu ukázaly, že jednoznačně nejvýnosnějším druhem je *Zea mays* L. Naopak porost *Phalaris arundinacea* L. nemůže být z tohoto hlediska hodnocen kladně. Travní druhy *Phalaris arundinacea* L.

a *Elymus elongatus* však, na rozdíl od *Zea mays* L., vynikaly protierozní ochranou půdy. Analýza v laboratoři odhalila téměř dvojnásobný obsah primární půdní organické hmoty v půdě porostů *Miscanthus × giganteus* a *Zea mays* L. oproti půdám od obou zbývajících rostlin. Z vypočtené rychlostní konstanty oxidace primární půdní organické hmoty k bylo možné pozorovat relativně velké rozdíly ve kvalitě primární půdní organické hmoty mezi vzorky půd z různých porostů. Při určování kvality porostů z hlediska biodiverzity stěvlíkovitých můžeme na základě vyhodnocení získaných dat konstatovat, že porosty nejsou zvláště environmentálně hodnotné.

Výzkum naznačil, že ačkoli se vytrvalé porosty z hlediska výnosnosti, ani energetického zisku druhu *Zea mays* L. nevyrovnají, mohou nabídnout alternativu v oblastech méně příznivých pro pěstování této plodiny a zejména pak v lokalitách erozně ohrožených.

Klíčová slova: biodiverzita, energetika, eroze, půdní organická hmota, výnosy

Abstract

This dissertation aims primarily at determining the energy yield that can be produced, if certain species of energy crops are grown by the Faculty of Agriculture, the University of South Bohemia, on a university's trial parcel. *Zea mays* L. is one of the energy crops chosen for the experiment. Perennial crops of *Phalaris arundinacea* L., *Elymus elongatus* (cv. Szarvasi-1) and *Miscanthus × giganteus* were also chosen for this experiment.

Based on the collected data, a risk of erosion provoked by the above-mentioned crops has been determined by using USLE method. The soil has been analysed too. This analysis has focused on the organic matter evaluation, by using a brand new method. Last but not least, occurrence of *Carabidae* beetles has been studied and evaluated within the research; they are considered bio indicators of the environmental conditions.

Our experiment has shown that *Zea mays* L. is the most high-yielding species. On the other hand, *Phalaris arundinacea* L. has not produced positive results. In contrast to *Zea mays* L., grass species of *Phalaris*

arundinacea L. and *Elymus elongatus* have had an extraordinary anti-erosion capacity. Studying the amount of primary organic matter in the soil, we have found almost double amount of it in *Miscanthus × giganteus* and *Zea mays* L., compared to another two species. Monitoring oxidation reaction kinetics of the primary organic matter, we could count the oxidation speed constant of k . There have been dramatic differences between the individual soil samples. However, the data file is too complicated to draw the general conclusion from. On the other hand, evaluating the data gathered by studying *Carabidae* beetles and the environmental values of the crops stands, we have found out the crop stands are not too valuable from the environmental point of view.

We have found out the perennial species have got an extraordinary anti-erosion capacity. We recommend *Miscanthus × giganteus* and *Elymus elongatus*, in particular, as an alternative to corn, especially to regions highly endangered by erosion.

Key words: biodiversity, energetics, erosion, soil organic matter, yield

Úvod a cíle práce

Ve vyspělých evropských zemích je trendem nárůst výroby elektrické a tepelné energie z obnovitelných zdrojů. V podmínkách České republiky vykazuje z těchto zdrojů největší potenciál energie získávaná z biomasy. Důsledky a vlivy pěstování energetických rostlin na stav životního prostředí jsou v literatuře často diskutovaným tématem. Za environmentálně šetrné je považováno pěstování vytrvalých druhů trav, jejichž fytomasu lze využít jako substrát pro bioplynové stanice (BPS) nebo jako hmotu vhodnou pro spalování v teplárnách.

Disertační práce je zaměřena na porovnání konvenční energetické plodiny - *Zea mays* L. (kukuřice setá) s vytrvalými rostlinami *Phalaris arundinacea* L. (lesknice rákosovitá), *Elymus elongatus* (cv. Szarvasi-1) a *Miscanthus × giganteus* (ozdobnice čínská). Tyto rostliny byly zkoumány z hlediska výnosů a množství energie, jež je možno teoreticky získat jejich pěstováním a využitím v energetice. Dále byly sledovány environmentální aspekty jejich pěstování na vybrané

složky životního prostředí. Byla zjištěna protierozní ochrana jednotlivých porostů, zhodnoceno množství a kvalita jednotlivých složek organické hmoty v půdách z porostů těchto energetických rostlin a také byl sledován výskyt střevlíkovitých brouků (*Carabidae*), jež jsou v praxi využíváni pro bioindikaci stavu životního prostředí.

Dílčí cíle

- 1) Založení a údržba porostů energetických rostlin na experimentálním stanovišti ZF JU a sledování výnosů,
- 2) Stanovení energetického zisku ze sklizené fytomasy,
- 3) Výpočet ztráty půdy vodní erozí pro jednotlivé porosty metodou USLE,
- 4) Odběr a analýza půdních vzorků v laboratoři – stanovení obsahu primární půdní organické hmoty a rychlostní konstanty její oxidace, determinace množství humusu a výpočet stupně humifikace,

5) Odchyt střevlíkovitých brouků (*Carabidae*) jako indikátorů stavu životního prostředí v porostech energetických rostlin, vyhodnocení získaných dat.

Materiál a metodika

Na pokusném pozemku Zemědělské fakulty byly založeny porosty energetických rostlin. Všechny druhy byly pěstovány jak jednosečně (varianta Spalování), tak dvousečně (varianta Bioplyn). *Zea mays* L. a *Miscanthus × giganteus* byly hnojeny minerálními hnojivy. Porosty *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L. byly pěstovány ve třech úrovních výživy. Intenzivní varianta byla taktéž hnojena anorganickými hnojivy, varianta Digestát byla přihnojována digestátem z bioplynové stanice a varianta Extenzivní hnojena nebyla.

Ve stanovených termínech byly odebírány vzorky fytohmoty, na základě nichž byl následně odvozen hektarový výnos suché hmoty. Vzorky rostlin z varianty Bioplyn byly v certifikované laboratoři podrobeny analýze vývoje plynu ze substrátu inkubací v médiu. U vzorků z varianty Spalování byla provedena elementární analýza, na jejímž základě byla vypočtena hodnota spalného tepla. Z údajů o výnosech sušiny a hektarovém výnosu metanu, resp. spalném teple, byl vypočten pro všechny rostliny a varianty energetický zisk.

Dále byla shromážděna data potřebná pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí pomocí empirické metody USLE. Erozní ohroženost byla vypočtena pro všechny zkoumané rostliny a varianty jejich pěstování.

Pomocí pedologické sondážní tyče byly z porostů odebrány půdní vzorky, které byly upraveny pro následné analýzy. Kvalita primární půdní organické hmoty byla odvozena od hodnoty konstanty k , která byla vypočtena na základě sledování reakční kinetiky oxidace půdní organické hmoty pomocí chromsírové spalovací směsi ($0,4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ v $12 \text{ M H}_2\text{SO}_4$). Byly stanoveny i obsahy veškeré primární půdní organické hmoty a celkové půdní organické hmoty ve vzorcích. Následně byl vypočten obsah humusu a stupeň humifikace půdní organické hmoty.

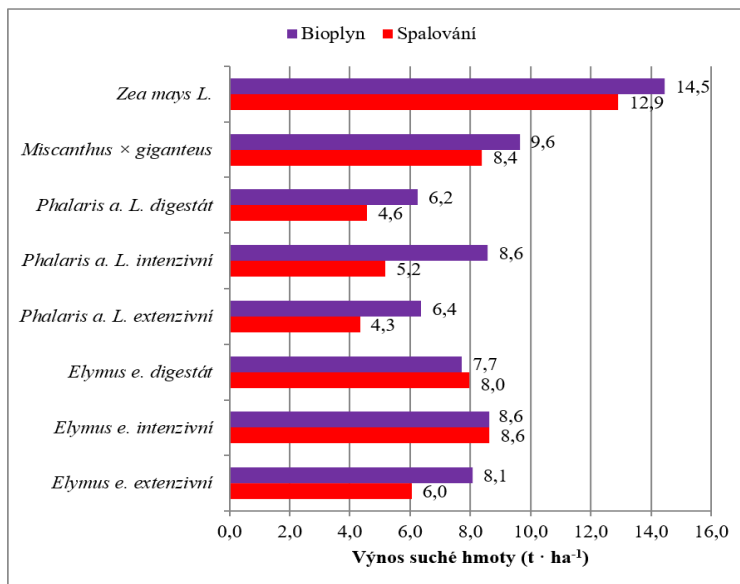
Biodiverzita střevlíkovitých byla sledována po dvě vegetační sezóny pomocí zemních pastí. Odchycení jedinci čeledi *Carabidae* byli následně zařazeni do bioindikačních skupin a také byl pro jednotlivé porosty vypočten Shannon-Wienerův index druhové diverzity.

Výsledky a diskuze

Výnosy energetických rostlin

Průměrné výnosy (2014 – 2016) všech druhů energetických rostlin (včetně variant hnojení a sečí) jsou uvedeny v Grafu 1. Podle předpokladů bylo vyšších výnosů dosaženo ve variantě Bioplyn – tedy u porostů, jež byly sečeny dvakrát do roka (kromě *Zea mays* L.). Nižší výnosy ve variantě Spalování mohou být způsobeny i zimními ztrátami, které jsou v literatuře často uváděny (Havlíčková a kol., 2008 atd.). Nejnižší průměrný výnos sušiny byl zaznamenán u *Phalaris arundinacea* L. V závislosti na variantě hnojení se pohyboval v intervalu 4,3 až 8,6 t · ha⁻¹. Petříková (1999) však zmiňuje výnosový potenciál až 15 t · ha⁻¹. Porost *Elymus elongatus* poskytl 6,0 – 8,6 t · ha⁻¹ suché biomasy. Obvykle jsou však publikovány vyšší výnosy. Janowszky a Janowszky (2007) reportují o výnosu až 20 t · ha⁻¹ v maďarském městě Šopron. V odborné literatuře je *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 popisován jako rostlina, která se výnosově může vyrovnat *Zea mays* L. (Dickeduisberg a kol., 2017).

Graf 1: Průměrné výnosy energetických rostlin



Kukuřice však v našich pokusech, prokázala výrazně vyšší výnosový potenciál, když bylo sklizeno 14,5 t · ha⁻¹ sušiny ve variantě Bioplyn a 12,9 t · ha⁻¹ ve variantě Spalování. Průměrný výnos suché hmoty z porostů *Miscanthus × giganteus* činil 9,6 t · ha⁻¹ ve variantě Bioplyn, resp. 8,4 t · ha⁻¹ ve variantě Spalování. Například Angelini a kol. (2009) uvádí výnosy při pokusu v Itálii, kdy bylo dosaženo 28,7 t · ha⁻¹. Výnosy *Miscanthus × giganteus* v různých podmínkách se v

uplynulých letech věnovala i řada dalších autorů, například Kahle a kol. (2001) či Danalatos a kol. (2007).

Energetický zisk

Varianta Bioplyn

Specifický výnos metanu (SMY), hektarový výnos metanu (MHY), energetický zisk (E) a také plocha, která by byla potřebná pro zisk 1 TJ energie, při pěstování daných rostlin jsou shrnuty v Tabulce 1.

Tabulka 1: Průměrné hodnoty SMY, MHY, energetický zisk a plocha potřebná pro zisk 1 TJ energie

Druh, varianta	SMY (dm ³ ·kg ⁻¹)	MHY (m ³ ·ha ⁻¹)	E (TJ·ha ⁻¹)	Plocha (ha)
<i>Elymus e.</i> extenzivní	367	2916	0,116	8,6
<i>Elymus e.</i> intenzivní	367	3178	0,126	7,9
<i>Elymus e.</i> digestát	367	2814	0,112	8,9
<i>Phalar. a. L.</i> extenzivní	341	2133	0,085	11,8
<i>Phalaris a. L.</i> intenzivní	341	2895	0,115	8,7
<i>Phalaris a. L.</i> digestát	341	2124	0,085	11,8
<i>Miscanthus × giganteus</i>	355	3451	0,137	7,3
<i>Zea mays</i> L.	416	5975	0,238	4,2

Jak je patrné z výše uvedených údajů, nejvyšší energetický zisk poskytne porost *Zea mays* L. Jeho výše

se téměř shoduje s údajem Hrčkové a kol. (2016), která píše o energetickém zisku z kukuřice ve výši 0,233 TJ · ha⁻¹. Následovaly *Miscanthus × giganteus* a *Elymus elongatus* ve variantě Intenzivní. Naopak znatelně nižší energetický zisk byl zaznamenán u variant Extenzivní a Digestát porostu *Phalaris arundinacea* L.

Varianta Spalování

V Tabulce 2 jsou shrnuty hodnoty spalného tepla, energetického zisku a velikosti plochy, která by byla zapotřebí k zisku 1 TJ energie. Z hlediska hodnoty spalného tepla se nejlépe jevíly porosty *Miscanthus × giganteus* a *Zea mays* L., které dosáhly vyšších hodnot, než uvádí literatura.

Dle předpokladů byl nejvyšší energetický zisk zaznamenán u *Zea mays* L., následoval *Miscanthus × giganteus*. Jak *Elymus elongatus*, tak *Phalaris arundinacea* L. nejlépe reagovali na hnojení minerálními hnojivy a nejvyššího energetického zisku tak u nich bylo dosaženo v této variantě.

Tabulka 2: Spalné teplo, energetický zisk a plocha potřebná pro zisk 1 TJ energie

Druh, varianta	Spalné teplo (MJ·kg ⁻¹)	E (TJ·ha ⁻¹)	Plocha (ha)
<i>Elymus e. extenzivní</i>	17,9	0,108	9,3
<i>Elymus e. intenzivní</i>	18,1	0,156	6,4
<i>Elymus e. digestát</i>	17,9	0,143	7,0
<i>Phalar. a. L. extenzivní</i>	17,1	0,74	13,5
<i>Phalaris a. L. intenzivní</i>	17,5	0,91	11,0
<i>Phalaris a. L. digestát</i>	17,4	0,79	12,6
<i>Miscanthus × giganteus</i>	18,7	0,157	6,4
<i>Zea mays L.</i>	18,5	0,239	4,2

Erozní ohroženost

Shrnutí výpočtů dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí v podmínkách pokusné lokality při pěstování energetických rostlin v obou variantách využití je uvedeno v Tabulce 3.

Protože jsou druhy *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L. z hlediska zvolené metodiky totožné, výsledek výpočtu musí být stejný, a to 1,3 t · ha⁻¹ · rok⁻¹. Tyto hodnoty jsou relativně nízké, průměrná rychlost tvorby půdy v Evropě je totiž asi 1,4 t · ha⁻¹ · rok⁻¹ (Verheijen a kol., 2009). Potvrdilo se tak, že travní

porosty poskytují vynikající protierozní ochranu (Prochnow a kol., 2009).

Tabulka 3: Ztráta půdy vodní erozí z plochy 1 hektaru

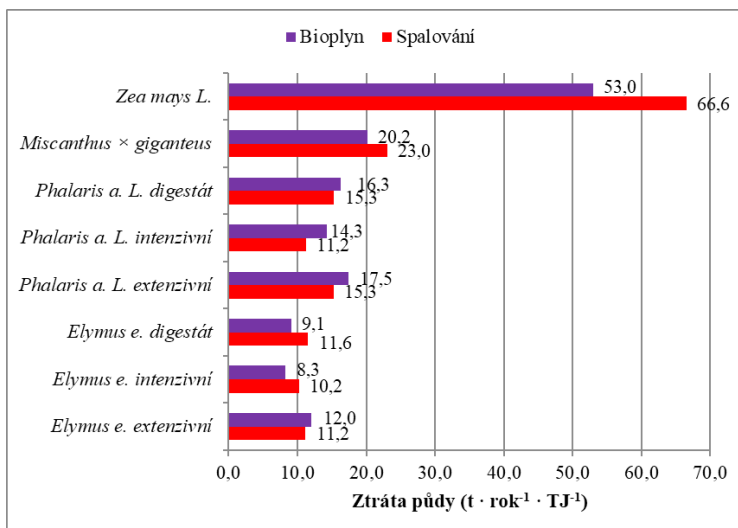
Druh, varianta	G (t·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹)	
	Bioplyn	Spalování
<i>Elymus e. extenzivní</i>	1,30	1,30
<i>Elymus e. intenzivní</i>	1,30	1,30
<i>Elymus e. digestát</i>	1,30	1,30
<i>Phalar. a. L. extenzivní</i>	1,30	1,30
<i>Phalaris a. L. intenzivní</i>	1,30	1,30
<i>Phalaris a. L. digestát</i>	1,30	1,30
<i>Miscanthus × giganteus</i>	3,17	3,17
<i>Zea mays L.</i>	15,83	12,66

Miscanthus × giganteus je z hlediska protierozní ochrany méně účinný (3,17 t · ha⁻¹ · rok⁻¹), nicméně i přesto převyšuje v tomto ohledu porost *Zea mays L.* zhruba pětkrát. Hübner a kol. (2017) uvádí ztrátu půdy v Bavorsku při pěstování *Zea mays L.* bez využití půdoochranných technologií v množství 19,3 t · ha⁻¹ · rok⁻¹. Průměrná ztráta půdy vodní erozí z orných půd v České republice, kterou vypočítal Panagos a kol.

(2015) a činí $2,52 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Pro Evropskou unii pak uvádí hodnotu $2,46 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Při srovnání množství půdy, které by bylo teoreticky odneseno procesem vodní eroze při pěstování takového množství fytomasy, z něhož bychom získali 1 TJ energie, zjistíme, že jsou zde již patrné rozdíly nejen v závislosti na dané rostlině, ale i variantě hnojení (Graf 2).

Graf 2: Porovnání ztrát půdy v obou variantách



Jak je vidět, z hlediska minimálního smyvu půdy prostřednictvím procesu vodní eroze vyniká rostlina *Elymus elongatus* hnojená minerálními hnojivy.

Podobných ztrát půdy by bylo dosaženo i u zbývajících variant hnojení této rostliny, ale také u minerálně hnojené varianty *Phalaris arundinacea* L. Několikanásobně vyšší hodnota byla zaznamenána u *Zea mays* L.

Organická hmota

Množství primární půdní organické hmoty (PPOH)

Množství uhlíku C_1 (Tabulka 4), které bylo stanoveno po dooxidování půdních vzorků v prostředí $0,4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ v $12 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ po dobu 30 minut při 100°C , udává množství organického uhlíku náležejícího PPOH.

Byl zjištěn značný rozdíl v kvantitě PPOH u půd z porostů *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L. na jedné straně a *Miscanthus* × *giganteus* společně s *Zea mays* L. na straně druhé. U prvně jmenované dvojice se průměrný obsah PPOH pohyboval v rozmezí 0,95 % – 1,29 %. V případě *Miscanthus* × *giganteus* a *Zea mays* L. bylo zastoupení PPOH v půdních vzorcích výrazně vyšší (2,4 – 2,23 %).

Tabulka 4: Obsah primární půdní organické hmoty

Druh, varianta, využití	PPOH (%)	Druh, varianta, využití	PPOH (%)
<i>Elymus e. ext.</i> , B	0,95	<i>Phalaris a. L. int.</i> , B	1,16
<i>Elymus e. dig.</i> , S	0,97	<i>Elymus e. int.</i> , S	1,18
<i>Elymus e. ext.</i> , S	0,97	<i>Phalaris a. L. dig.</i> , S	1,18
<i>Elymus e. dig.</i> , B	1,07	<i>Elymus e. int.</i> , B	1,29
<i>Phalaris a. L. int.</i> , S	1,07	<i>Zea mays</i> L., S	2,04
<i>Phalaris a. L. ext.</i> , B	1,09	<i>Zea mays</i> L., B	2,05
<i>Phalaris a. L. dig.</i> , B	1,14	<i>Miscanthus × g.</i> , S	2,23
<i>Phalaris a. L. ext.</i> , S	1,15	<i>Miscanthus × g.</i> , B	2,23

V rámci hodnocení půd z porostů *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L. byl také hodnocen vliv jednotlivých faktorů na obsah PPOH. Statisticky průkazný rozdíl byl nalezen u intenzity hnojení. Nejvyšší množství PPOH obsahovaly půdy, na něž byla aplikována minerální hnojiva. Půdy z nehnojených porostů vykazovaly nižší obsah této složky půdní organické hmoty.

Dále bylo statisticky podloženo, že *Phalaris arundinacea* L. podporuje vysoký obsah PPOH v půdě více než *Elymus elongatus*. Vliv četnosti sečí na obsah PPOH prokázán nebyl.

Rychlostní konstanta oxidace primární půdní organické hmoty k

Srovnáme-li průměrnou hodnotu konstanty k u všech analyzovaných půdních vzorků (Tabulka 5), zjistíme, že nejnižší hodnota byla zaznamenána u vzorku půdy z porostu *Phalaris arundinacea* L. ve variantě hnojené minerálními hnojivy a sečené jedenkrát do roka. Zajímavým zjištěním pak bylo, že pod porostem těže rostliny, obhospodařované také jednosečně, ovšem hnojené digestátem, byla hodnota tohoto ukazatele nejvyšší. Vyšší hodnota značí, že organická hmota je snáze oxidovatelná a tedy lépe přístupná půdnímu edafonu jako zdroj energie. Obecně platí, že zvýšený obsah snadno rozložitelných složek půdní organické hmoty je považován za významný znak potenciální půdní úrodnosti (Haynes, 2005, Maia a kol., 2007).

Celková interpretace těchto výsledků však není jednoduchá. Proces transformace PPOH v půdě je totiž dynamický jev stále probíhající od labilních forem ke stabilním až k produktům mineralizace. V podmínkách intenzivních mikrobiálních procesů

v dobře hnojené půdě vzniká více labilních zdrojů PPOH, které jsou však rychle vyčerpány půdním edafonem jako zdroj energie.

Tabulka 5: Hodnota rychlostní konstanty k oxidace primární půdní organické hmoty

Druh, varianta, využití	k (min)	Druh, varianta, využití	k (min)
<i>Phalaris a. L. int.</i> , S	1,06	<i>Elymus e. int.</i> , B	1,30
<i>Elymus e. dig.</i> , S	1,17	<i>Elymus e. int.</i> , S	1,31
<i>Miscanthus × g.</i> , S	1,23	<i>Zea mays L.</i> , B	1,32
<i>Miscanthus × g.</i> , B	1,25	<i>Elymus e. ext.</i> , S	1,41
<i>Elymus e. ext.</i> , B	1,27	<i>Zea mays L.</i> , S	1,41
<i>Phalaris a. L. ext.</i> , B	1,29	<i>Phalaris a. L. int.</i> , B	1,45
<i>Phalaris a. L. ext.</i> , S	1,29	<i>Phalaris a. L. dig.</i> , B	1,58
<i>Elymus e. dig.</i> , B	1,30	<i>Phalaris a. L. dig.</i> , S	1,68

Při porovnání kvality organické hmoty v půdě pod *Miscanthus × giganteus* a *Zea mays L.*, lze pozorovat vyšší rychlost oxidace PPOH u půd z kukuřice. Je to logické, vyšší rychlost oxidace vyplývá z vyšší stability PPOH pod miskantem kvůli vysokému obsahu ligninu.

V rámci půd z porostů *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea L.* nebyl vliv žádného z posuzovaných faktorů na hodnotu konstanty k průkazný.

Obsah humusu

Průměrné výsledky analýzy obsahů humusu (H) všech půdních vzorků jsou představeny v Tabulce 6. Při hodnocení obsahu humusu je důležité upozornit, že procesy tvorby humusových látek postupnými transformacemi (biodegradace, biosyntéza, rozklad, resyntéza, kondenzace, polymerace) PPOH jsou velice pomalé, a že doba pokusů je z hlediska produktivity humifikace prakticky zanedbatelná.

Tabulka 6: Obsah humusu ve vzorcích půd

Změny obsahu humusu vlivem pěstovaných rostlin v tomto pokusu jsou zřejmě dány změnami obsahu ligninů, které při běžných metodikách stanovení obsahu

Druh, varianta, využití	H (%)	Druh, varianta, využití	H (%)
<i>Phalaris a. L. int.</i> , S	0,13	<i>Phalaris a. L. dig.</i> , S	0,24
<i>Elymus e. dig.</i> , B	0,18	<i>Elymus e. int.</i> , S	0,27
<i>Elymus e. ext.</i> , B	0,19	<i>Phalaris a. L. int.</i> , B	0,29
<i>Elymus e. dig.</i> , S	0,19	<i>Elymus e. int.</i> , B	0,30
<i>Phalaris a. L. ext.</i> , B	0,20	<i>Zea mays L.</i> , B	0,36
<i>Elymus e. ext.</i> , S	0,21	<i>Zea mays L.</i> , S	0,47
<i>Phalaris a. L. dig.</i> , B	0,21	<i>Miscanthus × g.</i> , S	0,53
<i>Phalaris a. L. ext.</i> , S	0,24	<i>Miscanthus × g.</i> , B	0,56

humusu reagují stejně, a tudíž je jejich obsah chybně připočten k obsahu skutečného humusu – huminovým kyselinám, fulvokyselinám a huminům. Toto tvrzení lze podepřít i zjištěnými výsledky o obsahu „humusu“ pod kukuřicí a miskantem, pro něž je vyšší koncentrace ligninu ve složení PPOH typická.

Byl prokázán statisticky významný rozdíl vlivu hnojení na obsah humusu. Negativní vliv digestátu na obsah humusu oproti minerálnímu hnojení byl překvapivý. Mělo by tomu být právě naopak. Po hnojení digestátem by se totiž měly ve výsledcích projevit ligninové stabilní složky z pevné fáze digestátu a výsledná hodnota by tedy měla být vyšší. Tento výsledek je tedy překvapivý a bylo by zapotřebí dalších výzkumů k objasnění tohoto jevu.

Vliv rostlinného druhu na obsah humusu prokázán nebyl. Naopak vliv sečí statisticky průkazný vliv měl. Vyšší zastoupení „humusové“ složky ve variantě Bioplyn bude pravděpodobně souviset s již výše zmíněnými skutečnostmi. Tedy že častější seč podporuje

vyšší tvorbu nové PPOH a tedy i zvyšuje produkci ligninů, které následně ovlivňují i naměřenou hodnotu.

Stupeň humifikace

Totéž, co bylo napsáno v předchozí kapitole o humusu, platí v podstatě i o stupni humifikace. Bohužel i stupně humifikace, v relativně krátkém experimentu, určuje rovnováha mezi mineralizací a vznikem spíše stabilních organických složek půdy než rezistentních huminových kyselin. Proto zjišťujeme vyšší hodnoty stupně humifikace pod bohatšími zdroji ligninu – miskantem a kukuřicí. Výsledky provedené analýzy jsou znázorněny v Tabulce 7. Celkově jsou při použité metodě zjištěné stupně humifikace nižší než u metod běžně používaných (Kopecký a kol., 2016).

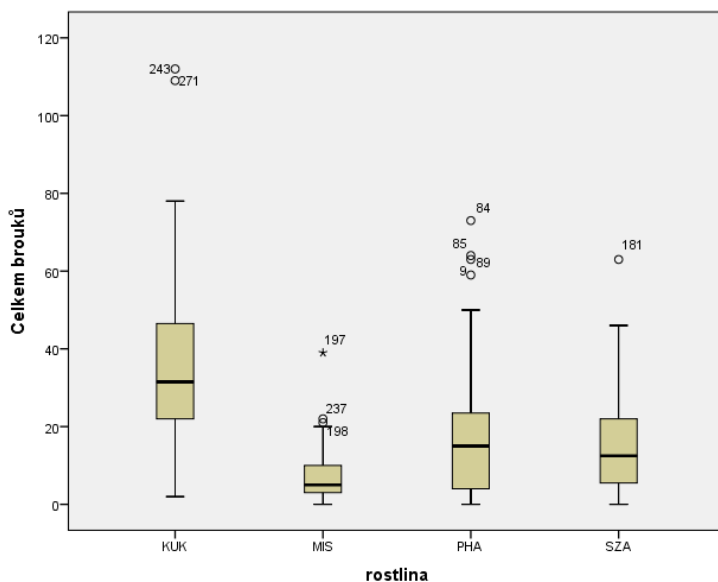
V rámci zkoumání půd z porostů *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L. nebyl vliv žádného z posuzovaných faktorů na hodnotu stupně humifikace průkazný.

Tabulka 7: Stupeň humifikace ve vzorcích půd z porostů energetických rostlin

Absolutně nejpočetněji byly zastoupeny druhy *Pseudoophonus rufipes* (1 548 ks) a *Poecilus cupreus cupreus* (1 434 ks). Více než 100 jedinců bylo dále odchyceno od těchto druhů: *Agonum sexpunctatum* (142 ks), *Anisodactylus binotatus* (170 ks), *Calathus fuscipes fuscipes* (235 ks) a *Harpalus affinis* (550 ks).

Pro statistické hodnocení vlivu rostlinného druhu na počet kusů odchycených brouků bylo pomocí Kruskal-Wallisův testu zjištěno, že počet brouků mezi jednotlivými rostlinami je statisticky odlišný (p-hodnota 0,000). Výsledek testu shrnuje Graf 3.

Graf 3: Rozdělení počtu brouků podle typu rostliny



Pozn.: KUK – *Zea mays* L., MIS – *Miscanthus × giganteus*, PHA – *Phalaris arundinacea* L., SZA – *Elymus elongatus*

Absolutně nejvíce jedinců bylo odchyceno v porostu *Zea mays* L. (37,25 ks / past / odchyt).

Vzhledem k častým disturbancím (například agrotechnické operace), které působí na střevlíkovité negativně (Brust, 1990), nelze předpokládat, že by střevlíkovití preferovali tento porost pro celý svůj životní cyklus. Zcela jistě se projevil efekt hustoty porostu. Jak zdůrazňuje Bezděk (2001), výsledky získané pomocí zemních pastí odrážejí aktivitu střevlíkovitých závislou na denzitě porostu a účinnosti pastí.

Zemní pasti však poměrně věrohodně dávají přehled o druhovém složení společenstva. Nejvyšší počet druhů byl zjištěn v porostu *Zea mays* L. V průměru 7,35 druhů / past / odchyt. Naopak nejchudším porostem na druhové bohatství byl *Miscanthus × giganteus*, kde bylo v jednom termínu odchytu do jedné pasti průměrně lapeno 3,60 druhu. Porost *Elymus elongatus* byl na druhové složení mírně chudší než *Phalaris arundinacea* L. (4,50 druhů / past / odchyt resp. 5,05 druhů / past / odchyt).

Samotné počty odchycených druhů a jejich abundance však nejsou zcela vypovídající. Důležitá je

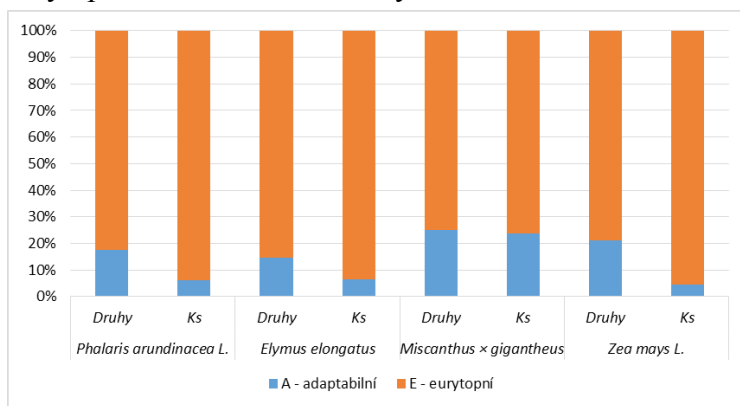
také indikační hodnota jednotlivých druhů a vyrovnanost společenstva.

V průběhu pokusu nebyl zaznamenán výskyt žádného druhu z bioindikační skupiny R – reliktní druhy. Jedná se o druhy vzácné, poutané na nepříliš poškozené přírodní ekosystémy. Ani zastoupení druhů ze skupiny A – adaptabilní není u žádného z porostů vysoké. Tyto druhy jsou charakterizovány tím, že osidlují více nebo méně přirozená nebo přirozenému stavu blízká stanoviště. Vyskytují se i na druhotných, dobře regenerovaných biotopech, zvláště v blízkosti původních ploch (Hůrka a kol., 1996). Nejvíce bylo ve všech rostlinných druzích odchyceno zástupců skupiny E – eurytopní, kteří nemají vysoké nároky na kvalitu životního prostředí a jsou téměř všudypřítomní.

V Grafu 4 je pak znázorněn poměr mezi výskytem adaptabilních a eurytopních druhů. Zde je možné pozorovat, že jak v počtu druhů, tak i odchycených jedinců, má nejvyšší poměrné zastoupení adaptabilních brouků porost *Miscanthus* × *giganteus*. Nejlepšího výsledku pak dosáhl tento porost také při

výpočtu Shannon-Wienerova indexu. Čím jsou hodnoty vyšší, tím je společenstvo vyrovnanější. Hodnota indexu zpravidla dosahuje hodnot 1,5 – 4,5 (Divíšek a Culek, 2013). V našem případě jsou výsledky následující: *Zea mays* L. – 1,83; *Elymus Elongatus* – 2,09; *Phalaris arundinacea* L – 2,13; *Miscanthus × giganteus* – 2,50.

Graf 4: Grafické vyjádření poměru adaptabilních a eurypních druhů stěvlíkovitých



V rámci souboru dat z porostů *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L. bylo možné statisticky vyhodnotit i další faktory, které mohly mít vliv na početnost a druhové složení společenstev stěvlíků uvnitř ploch s těmito energetickými rostlinami.

Zatímco odlišný management hnojení neměl na počet druhů a množství odchycených jedinců průkazný vliv, frekvence sečí ano. Z výsledku Mann-Whitney testu vyplynulo, že existuje statisticky významný rozdíl mezi počtem brouků ve variantě Spalování (větší počet) a Bioplyn. Pomocí Kruskal-Wallisova testu byl pak potvrzen i vliv na počet druhů (opět ve prospěch dvousečné varianty). Hůrka a kol. (1996) popisuje spíše opačnou situaci. Domnívá se, že krátký porost by měl být pro některé, zejména heliofilní druhy, atraktivnější. Porhajašová a kol. (2012) také došla k výsledku, že větší počet brouků se vyskytoval na louce posečené, než louce neposečené. Grandchamp a kol. (2005) rovněž informuje o vyšším druhovém zastoupení i abundanci střevlíkovitých v porostech pasených či sečených v porovnání s extenzivně využívanými. Naše výsledky se v tomto tedy liší od řady podobných studií.

Závěr

Při vyhodnocení průměrných výnosů suché hmoty bylo zjištěno, že v obou variantách byl nejvýnosnější jednoletý druh *Zea mays* L. Vysokých výnosů dosáhl také *Miscanthus* × *giganteus* a *Elymus elongatus* hnojený minerálními hnojivy. Naopak travní druh *Phalaris arundinacea* L. poskytl nejnižší výnosy ze všech sledovaných rostlin. V návaznosti na zjištěné výnosy a další provedené výzkumy (analýza vývoje plynu ze substrátu, elementární analýza) byl u jednotlivých rostlin a variant vypočten energetický zisk. V tomto ohledu dopadl opět nejlépe porost *Zea mays* L. Pro zisk 1 TJ energie, který by mohl být získán při jeho pěstování, by bylo zapotřebí jen 4,2 ha orné půdy, a to v obou variantách. Na opačném konci skončil při výpočtu nehnojený porost *Phalaris arundinacea* L. ve variantě spalování. V tomto případě by bylo zapotřebí pěstovat tuto rostlinu na ploše 16,5 ha.

Po stanovení plochy potřebné k zisku zmiňovaného množství energie u všech rostlin a variant byla následně vypočtena Univerzální rovnice pro výpočet

dlouhodobé ztráty půdy vodní erozí. Bylo zjištěno, že ačkoli by pro porost *Zea mays* L. byla třeba nejmenší plocha, ztráta půdy procesem vodní eroze by z ní byla absolutně největší. Z hlediska ochrany půdy vůči vodní erozi naopak vynikala rostlina *Elymus elongatus*.

Dále byly podrobeny analýze v laboratoři půdní vzorky ze zmiňovaných porostů a jednotlivých variant jejich obhospodařování. Bylo hodnoceno množství primární půdní organické hmoty a její kvalita. Pro analýzy byla využita nová metoda založená na postupné oxidaci primární půdní organické hmoty chromsírovou spalovací směsí a sledování reakční kinetiky této reakce. Rovněž byl v půdních vzorcích stanoven obsah humusu a stupeň humifikace. V práci byl popsán význam jednotlivých faktorů managementu na zmiňované vlastnosti půdní organické hmoty.

Poslední částí rozsáhlého sledování environmentálních aspektů pěstování energetických rostlin bylo pozorování výskytu střevlíkovitých brouků (*Carabidae*). Výskyt jednotlivých druhů včetně jejich abundance lze interpretovat různě. Nejde totiž jen o

absolutní čísla jejich výskytu, ale především o indikační hodnotu jednotlivých druhů. Po zařazení brouků do bioindikačních skupin bylo zjištěno, že se v porostech objevovaly především druhy eurytopní, které nemají vysoké nároky na kvalitu životního prostředí. Přesto, že se z hlediska druhové bohatosti jevil *Miscanthus × giganteus* nejhůře, Shannon-Wienerův index druhové bohatosti vyhodnotil právě tento porost jako nejpříznivější. Celkově však nelze žádný z porostů hodnotit, z hlediska výskytu na stav životního prostředí náročných brouků, kladně.

Bylo zjištěno, že z hlediska výnosových a energetických účelů je opravdu nejideálnější volbou v současné době rozšířená rostlina *Zea mays* L. Hodnotíme-li však všechny druhy také z hlediska environmentálního, výsledky již tak jednoznačné nejsou. Především v protierozní ochraně půdy tento porost značně zaostává za ostatními posuzovanými druhy. Výzkum půdní organické hmoty přinesl řadu výsledků, jejichž přesná interpretace by vyžadovala podrobnější analýzu.

Při sledování biodiverzity střevlíkovitých pak bylo na pokusné lokalitě odchyceno relativně velké množství střevlíkovitých brouků. Bohužel jejich druhové složení nepoukazuje na vysokou kvalitu životního prostředí a v porostech jsou patrné antropogenní vlivy.

Při komplexním hodnocení lze konstatovat, že zkoumané vytrvalé energetické rostliny nabízejí přijatelnou alternativu k dnes tolik populární kukuřici seté. Zejména v méně příznivých oblastech by tyto plodiny mohly nalézt své uplatnění. Ze dvojice *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L. se vhodněji jeví prvně jmenovaná tráva, a to především díky většímu výnosovému a energetickému potenciálu. Tento travní druh lze doporučit do svažitých erozně ohrožených lokalit. Při výhledu do budoucna a předpokládané změně klimatu se jeví perspektivně také *Miscanthus × giganteus*, jež je rostlinou typu C4, které dokážou lépe uplatňovat svůj výnosový potenciál v sušších a teplejších lokalitách.

Zdroje:

1. Angelini, L. G., Ceccarini, L., o Di Nasso, N. N., & Bonari, E. (2009). Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus* × *giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass and bioenergy*, 33(4), 635–643.
2. Bezděk, A. (2001). Význam střevlíků (Carabidae) jako indikátorů ekologických změn. In *Aktuality šumavského výzkumu*. 2.–4. 4. 2001 (pp. 166–167). Vimperk: Správa NP a CHKO Šumava.
3. Brust, G. E. (1990). Direct and indirect effects of four herbicides on the activity of carabid beetles (Coleoptera: *Carabidae*), *Pesticide Science*, 30, 309–320.
4. Danalatos, N. G., Archontoulis, S. V., & Mitsios, I. (2007). Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus* × *giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. *Biomass and Bioenergy*, 31(2–3), 145–152.

5. Dickeduisberg, M., Laser, H., Tonn, B., & Isselstein, J. (2017). Tall wheatgrass (*Agropyron elongatum*) for biogas production: Crop management more important for biomass and methane yield than grass provenance. *Industrial crops and products*, 97, 653–663.
6. Divíšek, J., & Culek, M. (2013). *Biogeografie*. Citováno 2. 7. 2018. Dostupné https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps13/biogeogr_2/web/pages/index_book_7-1-1.html.
7. Grandchamp, A. C., Bergamini, A., Stofer, S., Niemelä, J., Duelli, P., & Scheidegger, C. (2005). The influence of grassland management on ground beetles (Carabidae, Coleoptera) in Swiss montane meadows. *Agriculture, ecosystems & environment*, 110(3-4), 307–317.
8. Havlíčková, K., Kašparová, L., & Rudišová, I. (2009). Vliv opláštění na biodiverzitu ve výmladkové plantáži rychle rostoucích dřevin. *Acta Pruhoniciana*, 92, 55–60.

9. Haynes, R. J. (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in agronomy*, 85, 221–268.
10. Hřčková, K., Pollák, S., Britaňák, N., & Hašana, R. (2016). Energy balance of chosen crops and their potential to saturate energy consumption in Slovakia. *Journal of Central European Agriculture*, 17(2), 433–447.
11. Hübner, R., Lu, J., & Wiesmeier, M. (2017). Risk assessment within agricultural production: soil conservation strategies and its environmental and economic aspects-a case study for Bavaria. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 13(1), 1–20.
12. Hůrka, K. (1996): *Carabidae of the Czech and Slovak Republics*. Zlín: Kabourek.
13. Hůrka, K. (2005): *Brouci České a Slovenské republiky*. Zlín, Kabourek.

14. Janowszky, J., & Janowszky, Z. (2007). “Szarvasi-1“ energiafő fajta – egy új növénye a mezőgazdaságnak és az iparnak. In J. Tasi (Eds.), *A magyar gyepgazdálkodás 50 éve -tanulságai a mai gyakorlat számára-* (89–92), Gödöllő: Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar.
15. Kahle, P., Beuch, S., Boelcke, B., Leinweber, P., & Schulten, H. R. (2001). Cropping of Miscanthus in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. *European Journal of Agronomy*, 15(3), 171–184.
16. Kopecký, M., Kolář, L., & Borová-Batt, J. (2016). The new method of determination of the quantity and quality of primary soil organic matter and humus. In Proceedings from International Conference Soil – the non-renewable environmental resource, 7.–9. září 2015 (pp. 135–142). Brno: Mendelova univerzita v Brně.
17. Maia, S. M. F., Xavier, F. A. S., Oliveira, T. S., Mendonça, E. S., & Araújo Filho, J. A. (2007).

Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry systems*, 71(2), 127–138.

18. Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., ... & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science & policy*, 54, 438–447.
19. Petříková, V. (1999). *Rostliny pro energetické účely*. Praha: Česká energetická agentura.
20. Porhajašová, J., Petřvalský, V., Macák, M., Urmínská, J., & Ondříšek, P. (2008). Occurrence of species family Carabidae (Coleoptera) independence on the input of organic matter into soil. *Journal of Central European Agriculture*, 9(3), 557–565.
21. Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T., & Hobbs, P. J. (2009). Bioenergy from permanent grassland—A review: 1.

Biogas. *Bioresource technology*, 100(21), 4931–4944.

22. Verheijen, F. G., Jones, R. J., Rickson, R. J., & Smith, C. J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94(1–4), 23–38.